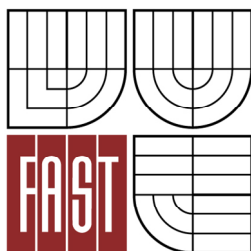




VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ  
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STAVEBNÍ  
ÚSTAV TECHNOLOGIE STAVEBNÍCH HMOT A DÍLCŮ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING  
INSTITUTE OF TECHNOLOGY OF BUILDING MATERIALS AND COMPONENTS

## ASFALTOVÉ SMĚSI S POUŽITÍM VYŠŠÍHO MNOŽSTVÍ R-MATERIÁLU

ASPHALT MIXTURES WITH THE USE OF HIGHER AMOUNT OF RAP

DIPLOMOVÁ PRÁCE  
DIPLOMA THESIS

AUTOR PRÁCE  
AUTHOR

BC. BOHUMÍR MUCHA

VEDOUCÍ PRÁCE  
SUPERVISOR

doc. Dr. Ing. MICHAL VARAUS

BRNO 2014



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

<b>Studijní program</b>	N3607 Stavební inženýrství
<b>Typ studijního programu</b>	Navazující magisterský studijní program s prezenční formou studia
<b>Studijní obor</b>	3607T020 Stavebně materiálové inženýrství
<b>Pracoviště</b>	Ústav pozemních komunikací

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

<b>Diplomant</b>	Bc. Bohumír Mucha
<b>Název</b>	Asfaltové směsi s použitím vyššího množství R-materiálu
<b>Vedoucí diplomové práce</b>	doc. Dr. Ing. Michal Varaus
<b>Datum zadání diplomové práce</b>	31. 3. 2013
<b>Datum odevzdání diplomové práce</b>	17. 1. 2014

V Brně dne 31. 3. 2013

.....  
doc. Dr. Ing. Michal Varaus  
Vedoucí ústavu

.....  
prof. Ing. Rostislav Drochytka, CSc., MBA  
Děkan Fakulty stavební VUT

### **Podklady a literatura**

ČSN EN 13108-1 Asfaltové směsi - Specifikace pro materiály - Část 1: Asfaltový beton.

ČSN EN 13108-20 Asfaltové směsi - Specifikace pro materiály - Část 20: Zkoušky typu.

ČSN 73 6160 Zkoušení asfaltových směsí.

Zkušební normy řady ČSN EN 12697.

Odborné články z konferencí Asfaltové vozovky.

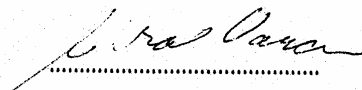
### **Zásady pro vypracování (zadání, cíle práce, požadované výstupy)**

Cílem práce je porovnání směsí s použitím přísady STORFLUX určené ke změkčení vyššího množství R-materiálu přidávaného do asfaltových směsí a přísady STORBIT, která navíc obsahuje vosky určené ke snížení teploty zpracování. Dále bude porovnána směs typu ACL 22 + s běžným modifikovaným asfaltem a nemodifikovaným asfaltem s přísadou STORELASTIC. Na obou navržených směsích budou provedeny funkční zkoušky a srovnány vyhodnocované parametry.

### **Struktura bakalářské/diplomové práce**

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

1. Textová část VŠKP zpracovaná podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (povinná součást VŠKP).
2. Přílohy textové části VŠKP zpracované podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (nepovinná součást VŠKP v případě, že přílohy nejsou součástí textové části VŠKP, ale textovou část doplňují).



doc. Dr. Ing. Michal Varaus  
Vedoucí diplomové práce

## **Abstrakt**

V úvodu diplomové práce je popsána asfaltová směs typu asfaltový beton a její základní vlastnosti. Hlavním bodem práce je porovnávání funkčních vlastností asfaltových směsí s přidavkem většího obsahu R-materiálu a různých změkčovadel použitých na pokusném úseku. Z jednotlivých vzorků asfaltových směsí odebraných při pokládce byly provedeny kontrolní zkoušky a byl sledován průběh formování trvalých deformací při zkoušce pojíždění kolem. Dále byly pomocí funkčních zkoušek porovnávány vlastnosti asfaltové směsi s běžným modifikovaným asfaltem a nemodifikovaným asfaltem obohaceným přísadou deklarující podobné vlastnosti.

## **Klíčová slova**

Asfaltové směsi, R-materiál, změkčovadlo, šaržová obalovna, ložní asfaltová vrstva, zkouška vyjíždění kolem, stanovení odolnosti zkušebního tělesa vůči vodě

## **Abstract**

At the beginning of the Master's thesis the asphalt mixture of the type asphalt concrete and its basic properties are described. The main point of this work is to compare the functional properties of asphalt mixtures with the addition of higher amount of RAP and various rejuvenators used in the experimental section. From individual samples of asphalt mixtures taken during the laying, the control tests were carried out and the process of permanent deformation with the wheel tracking test was monitored. After that, using functional tests the properties of asphalt mixtures with conventional modified and unmodified asphalt bitumen enriched with the addition of declaring similar properties were compared.

## **Keywords**

Asphalt mixtures, reclaimed asphalt (RAP), rejuvenators, batch mixing plant, asphalt binder course, wheel tracking test, determination of the water sensitivity of bituminous specimens



## **Bibliografická citace VŠKP**

Bc. Bohumír Mucha *Asfaltové směsi s použitím vyššího množství R-materiálu*.  
Brno, 2014. 87 s., 21 s. příl. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně,  
Fakulta stavební, Ústav technologie stavebních hmot a dílců. Vedoucí práce  
doc. Dr. Ing. Michal Varaus

**Prohlášení:**

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci zpracoval(a) samostatně a že jsem uvedl(a) všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 10.1.2014

.....  
podpis autora  
Bc. Bohumír Mucha

**Poděkování:**

Na tomto místě chci poděkovat svému vedoucímu diplomové práce doc. Dr. Ing. Michalu Varausovi za jeho odborné vedení a konzultace.

Dále bych rád poděkoval Pavlu Strakovi za výpomoc v laboratoři při Ústavu pozemních komunikací.

V neposlední řadě také děkuji kolektivu pracovníků laboratoře TPA, zejména jejímu vedoucímu Radku Pospíšilovi za nesmírnou vstřícnost, poskytnutí cenných rad a propůjčení technického zázemí laboratoře.

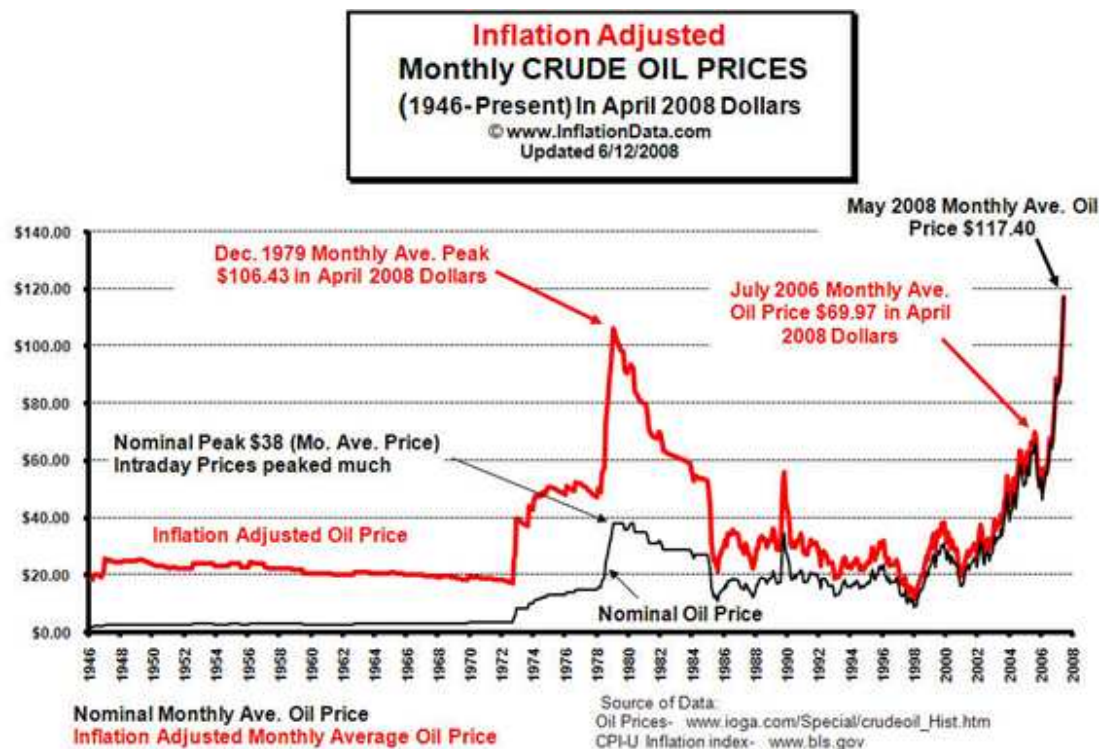
## OBSAH

<b>1</b>	<b>Úvod.....</b>	<b>10</b>
<b>2</b>	<b>Cíl Diplomové práce .....</b>	<b>12</b>
<b>3</b>	<b>Rešeršní část .....</b>	<b>12</b>
3.1	Složení asfaltových směsí .....	12
3.2	Druhy asfaltových směsí a vrstev .....	14
3.2.1	Asfaltový beton - AC .....	14
3.2.2	Asfaltový koberec mastixový - SMA.....	17
3.2.3	Asfaltový koberec drenážní - PA.....	20
3.3	Základní charakteristiky asfaltové směsi.....	21
<b>4</b>	<b>Experimentální zkoušení.....</b>	<b>22</b>
4.1	Použité asfaltové směsi .....	23
4.1.1	R-materiál použitý ve směsích.....	24
4.1.2	Pří sada STORFLUX [27] [26].....	25
4.1.3	Pří sada STORBIT [27].....	25
4.2	Popis pokusného úseku.....	26
4.3	Kontrolní zkoušky asfaltových směsí .....	27
4.3.1	Oddělení pojiva od kameniva – extrakce [4], [5] .....	27
4.3.2	Stanovení čáry zrnitosti – Sítový rozbor [23].....	29
4.3.3	Stanovení maximální objemové hmotnosti [6] .....	36
4.3.4	Stanovení objemové hmotnosti asfaltového zkušební tělesa [7] .....	38
4.3.5	Odolnost proti trvalým deformacím – zkouška opakovaného pojíždění kolem [10] [16].....	41
4.4	Dílčí vyhodnocení 1. části DP .....	51
<b>5</b>	<b>Druhá část DP – pří sada STORELASTIC .....</b>	<b>52</b>
5.1	Modifikované asfalty [24] .....	52

5.2	Přísada STORELASTIC [27].....	54
5.2.1	Složení.....	54
5.2.2	Výroba STORELASTIC Asfaltu (SEA) .....	55
5.2.3	Výhody při výrobě SEA.....	55
5.2.4	Pokládka SEA.....	55
5.2.5	Unikátní vlastnosti.....	56
5.2.6	Výhody přísady STORELASTIC .....	56
5.3	Návrh a výroba asfaltových směsí .....	56
5.3.1	Tvrdost asfaltového pojiva – stanovení penetrace jehlou [21] .....	57
5.3.2	Bod měknutí – zkouška kroužek kulička (KK) [22] .....	59
5.3.3	Výroba asfaltové směsi č. 10 - ACL 22+; PmB 25/55-55; 50 % R-mat.....	62
5.3.4	Výroba asfaltové směsi č. 9 - ACL 22+; 50/70; 50 % R-mat.; STORELASTIC.....	64
5.4	Funkční zkoušky .....	66
5.4.1	Odolnost proti trvalým deformacím – zkouška opakovaného pojíždění kolem [10].....	66
5.4.2	Odolnost zkušebního tělesa vůči vodě – zkouška ITSr [9] [11] ..	69
5.5	Dílčí vyhodnocení 2. části DP .....	74
<b>6</b>	<b>Závěr .....</b>	<b>74</b>
<b>7</b>	<b>Seznam použité literatury .....</b>	<b>77</b>
<b>8</b>	<b>Seznam použitých zkratk a symbolů.....</b>	<b>80</b>
<b>9</b>	<b>Seznam obrázků .....</b>	<b>82</b>
<b>10</b>	<b>Seznam tabulek.....</b>	<b>84</b>
<b>11</b>	<b>Seznam grafů .....</b>	<b>86</b>
<b>12</b>	<b>Seznam příloh.....</b>	<b>87</b>

# 1 Úvod

Dlouhodobě rostoucí ceny ropy a jejich derivátů (včetně asfaltových pojiv a nafty) vedou trvale ke zvyšování nákladů výstavby asfaltových vozovek. Možné úspory v přepravních vzdálenostech či v nezbytnosti využívat 100 % pouze čerstvá pojiva tak jsou přímými ekonomickými úsporami.



**Obr. 1** - Vývoj ceny ropy od roku 1946 (zahrnující vliv inflace) [30]

Obdobný poznatek se dotýká též využívání neobnovitelných zdrojů přírodního kameniva, kde nová výstavba a opravy mají celosvětově rostoucí trend, přičemž dopravní stavitelství se na celkové spotřebě podílí více jak 40 %.

Jednou z cest úspory celospolečenských nákladů je využití materiálu původní asfaltové vozovky. Takto zpracovávaný materiál, tzv. asfaltový R-materiál, může přinést snížení nákladů nových stavebních konstrukcí (náhrada přírodního kameniva nebo aplikace technologií recyklace na místě) a nemalé úspory veřejných financí pro stavbu nových a obnovu stávajících vozovek pozemních komunikací (PK). Současně s tím lze docílit i dalších úspor

celospolečenských nákladů, které lze shrnout zejména do oblasti ekonomických dopadů zvýšených nákladů přepravy stavebních materiálů. Především snižováním celkových přepravovaných objemů nových materiálů a zkrácením přepravních tras lze dosáhnout nižších nákladů pohonných hmot, i snížení potřeby častějších oprav a obnovy zatížených vozovek. V neposlední řadě představuje další potenciál úspor a celkového zefektivnění opětovné využití recyklovatelných materiálů před jejich skládkováním či druhořadými aplikacemi (např. v podobě zásypů, obsypů apod.). Tím je přistupováno proaktivně nejen k platnému zákonu o odpadech (zák. č. 185/2001 Sb. v platném znění), ale i k evropské směrnici o odpadovém hospodářství. Prozatímní maximální využití asfaltového R-materiálu v nově navrhovaných a vyráběných asfaltových směsích z asfaltového betonu v ČR je patrný z **Tabulky 1**.

**Tabulka 1** – Nejvyšší přípustný obsah R-materiálu v % hmotnosti v asfaltové směsi z asfaltového betonu [18]

Obrusné vrstvy		Ložní vrstvy		Podkladní vrstvy	
Druh směsi	R-materiál (%)	Druh směsi	R-materiál (%)	Druh směsi	R-materiál (%)
ACO 8	25	ACL 16S	30/15	ACP 16S	50
ACO 8 CH	25	ACL 16+	30	ACP 16+	60
ACO 11S	-	ACL 16	40	ACP 22S	50
ACO 11+	-	ACL 22S	30/15	ACP 22+	60
ACO 11	25	ACL 22+	30		
ACO 16S	-	ACL 22	40		
ACO 16+	-				
ACO 16	25				

Tyto limity dosud byly dány převážně technickými možnostmi a do značné míry neopodstatněnou obavou před snížením kvality výsledného výrobku. V zahraničí jsou oproti tomu rozvíjené a postupně standardizované nové trendy s vyšším využitím R-materiálu (Loveday, 2009; DAV, 2008). Současně v rámci 7RP EU jsou úspěšně realizovány projekty, jejichž cílem je podpořit celoevropsky maximální možnou recyklovatelnost vozovek – DirectMat a ReRoad.

## **2 Cíl Diplomové práce**

Cílem práce je porovnání směsí s použitím přísady STORFLUX určené ke změkčení vyššího množství R-materiálu přidávaného do asfaltových směsí a přísady STORBIT, která navíc obsahuje vosky určené ke snížení teploty zpracování. Druhá část diplomové práce je věnována porovnání asfaltové směsi typu ACL 22+ s běžným modifikovaným asfaltem a též směsi s nemodifikovaným asfaltem s přísadou STORELASTIC. Cílem je vzájemné srovnání funkčních vlastností a možnost modifikace přísadou STORELASTIC běžného silničního asfaltového pojiva přímo na obalovně, tak aby mohl být eliminován tank na skladování modifikovaných asfaltů. Na obou navržených směších budou provedeny funkční zkoušky a srovnány vyhodnocované parametry.

## **3 Rešeršní část**

V této části diplomové práce bude pojednáno o asfaltové směsi jako takové, o způsobech jejího návrhu a o druzích asfaltových směsí.

### **3.1 Složení asfaltových směsí**

Asfaltová vrstva vzniká zhutněním horké asfaltové směsi, kdy je asfaltová směs dvoufázovým systémem skládajícím se ze směsi kameniva a asfaltového pojiva. Zhutněním horké směsi vzniká z dvoufázového systému systém třífázový, v kterém kamenivo vytváří vzájemně zaklíněnou kostru a pojivo spojuje jednotlivé zrna kostry dohromady. Třetí fází v tomto systému tvoří vzduchové mezery, které jsou nezbytné k tomu, aby asfaltová směs správně fungovala. Příliš nízký obsah vzduchových mezer cca pod 2 % celkového objemu směsi může způsobit, že asfaltové pojivo, které má cca 20 x větší teplotní roztažnost než kamenivo, vyplní v letních měsících, kdy povrch asfaltových vozovek dosahuje až 60 °C, veškeré mezery a asfaltové pojivo, které se chová podobně jako hustá a nestlačitelná kapalina, začne odtlačovat zaklíněnou kostru kameniva, čímž pod účinkem zatížení dochází k tvorbě



trvalých deformací. Naopak příliš vysoký obsah mezer u obrusné vrstvy cca nad 5 % způsobuje, že asfaltová vrstva začne propouštět vodu a narušovat spojení mezi asfaltovým pojivem a kamenivem. To je nežádoucí s ohledem na zachování životnosti celé konstrukce vozovky.

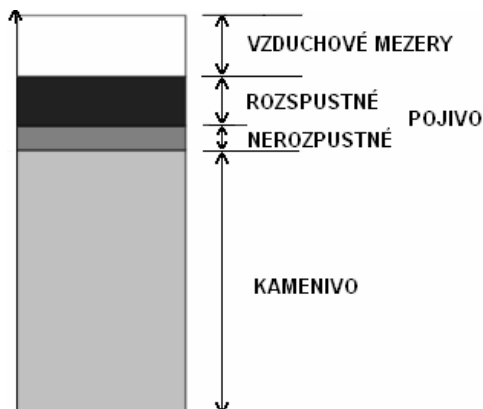
Únosnost vrstvy je dána třením mezi zrny kameniva a adhezí a kohezí, kterou vytváří asfaltové pojivo.

Jedinou výjimkou mezi asfaltovými směsmi je litý asfalt, který se nehutní, kamenivo má pouze výplňový charakter a “plave” v asfaltovém pojivu. Nedochází tedy k vzájemnému zaklínění zrn kameniva a dvoufázový systém zůstává zachován i po vychladnutí směsi. Asfaltová směs neobsahuje vzduchové mezery.

Asfaltová směs může obsahovat další přísady.

Rozhodující pro správnou volbu dvou základních vstupních materiálů – kameniva a asfaltového pojiva a volbu druhu asfaltové směsi jsou požadované funkce vrstvy ve vozovce zejména s ohledem na dopravní zatížení, návrhovou úroveň porušení a charakteristiky klimatu.

Běžné za horka zpracovávané asfaltové směsi se tedy skládají z cca 93 - 96 % hmotnostního podílu kameniva a 4 - 7 % hmotnostního podílu asfaltového pojiva. Kamenivo má objemovou hmotnost cca  $2.650 \text{ kg/m}^3$  a asfaltové pojivo cca  $1.020 \text{ kg/m}^3$ . Ve ztuhlé asfaltové směsi tedy zabírá kamenivo objemově 80 - 85 %, asfaltové pojivo 10 – 17 %, 3 – 5 % je nevyplněno (mezery) [32].



**Obr. 2 - Složení asfaltové směsi [25]**

Asfaltové směsi lze použít jak pro obrusné, ložní tak i podkladní vrstvy netuhých vozovek. Požadavky kladené na jednotlivé konstrukční vrstvy jsou uvedeny v následujícím přehledu.

#### Obrusné vrstvy

- Dobré protismykové vlastnosti (makrotextura, mikrotextura)
- Rovnost povrchu (příčná, podélná)
- Vodonepropustnost
- Odolnost proti tvorbě trvalých deformací
- Odolnost proti tvorbě trhlin – relaxační schopnosti (stárnutí pojiva)
- Trvanlivost (projevuje se opotřebením povrchu)
- Útlum hluku
- (Drenážní schopnosti)

#### Ložní vrstvy

- Společně s obrusnou vrstvou – tuhý kryt
- Odolnost proti tvorbě trvalých deformací

#### Podkladní vrstvy

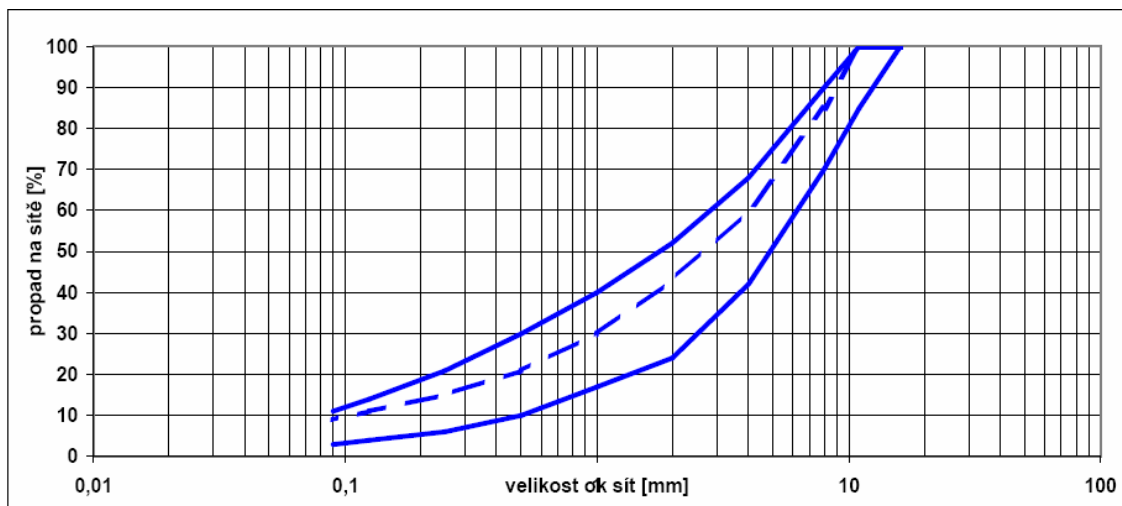
- Obecně - roznášení účinků zatížení od dopravy
- Odolnost proti únavě

### **3.2 Druhy asfaltových směsí a vrstev**

#### **3.2.1 Asfaltový beton - AC**

Asfaltový beton je určen pro stavbu krytových a podkladních vrstev silničních a dálničních vozovek, letištních a jiných zpevněných ploch. Tento typ asfaltové směsi se vyznačuje plynulou čarou zrnitosti, což znamená přibližně rovnoměrné zastoupení zrn všech velikostí. Únosnost vrstvy je zajištěna třením většiny vzájemně zaklíněných zrn v kostře kameniva, které je obaleno pojivem. Asfaltová směs má spíše uzavřenou texturu povrchu. Směs se vyrábí na obalovnách, po rozprostření a dokonalém zhutnění je obrusná vrstva

asfaltového betonu vodotěsná. Požadovaná mezerovitost se při návrhu směsi do obrusných vrstev pohybuje v rozmezí 2,5 – 4,5 %, u ložních vrstev 4 – 6 % a u podkladních vrstev 4 – 7 %.



**Obr. 3** - Obor zrnitosti asfaltové směsi ACO 11 s vyznačením Fullerovy paraboly (čárkovaně) [29]



**Obr. 4** - Uzavřená textura asfaltového betonu [29]

Pro návrh asfaltových betonů lze použít jako vodítko Fullerovu parabolu. Tato pomyslná čára představuje nejtěsnější uspořádání zrn v zhutněné kostře kameniva. Rovnice Fullerovy paraboly je:

$$Y_d = (d/D)^{0,5} \times 100 (\%)$$

kde  $Y_d$  je procentuální propad zrn na síť s velikostí oka  $d$  mm

$d$  velikost oka síta v mm

$D$  maximální velikost zrna v asfaltové směsi v mm

Obecně není žádoucí navrhovat asfaltové betony tak, aby čára zrnitosti byla identická s čarou zrnitosti Fullerovy paraboly. Takto navržené asfaltové betony by vykazovaly buď dostatečné množství pojiva a nízkou mezerovitost nebo nízké množství pojiva a vyhovující mezerovitost. Proto má být Fullerova parabola pouze pomocným vodítkem při návrhu. Výsledná čára zrnitosti by měla být vedena cca 5-10 % pod Fullerovou parabolou (platí pro síta s velikostí oka nad 1 mm včetně), kdy dochází k zaklínění hrubších zrn kamenné kostry. Takto navržené směsi jsou odolnější proti tvorbě trvalých deformací.

#### Označení asfaltového betonu:

**AC** označení asfaltového betonu (vychází z anglického názvu pro asfaltový beton = **A**sphalt **C**oncrete)

#### Označení asfaltového betonu podle použití v konstrukčních vrstvách vozovek:

ACO asfaltový beton pro obrusné vrstvy

ACL asfaltový beton pro ložní vrstvy

ACP asfaltový beton pro podkladní vrstvy

#### Označení asfaltového betonu podle nejhrubší použité frakce kameniva:

AC D číslo  $D$  představuje velikost oka horního síta nejhrubší použité frakce kameniva (tzv. nominálního síta) pro daný druh asfaltové směsi.

### Označení asfaltového betonu podle kvalitativních požadavků:

Symbol pro rozlišení je doplněn za označením „D“ nominálního síta.

S → směsi pro vysoké intenzity dopravního zatížení (dopravní zatížení S – II)

+ → směsi pro střední intenzity dopravního zatížení (dopravní zatížení II – IV)

Bez označení → směsi pro nízké intenzity dopravního zatížení (IV – VI)

CH → směsi pro nemotoristické komunikace a chodníkové úpravy

Označení asfaltového betonu se doplňuje:

– o druh použitého pojiva:

ACL D S pojivo; ACL D+ pojivo; ACL D pojivo

PŘÍKLAD: Asfaltový beton pro ložní vrstvu vozovky s velikostí maximálního zrna 16 mm třídy dopravního zatížení např. I s modifikovaným asfaltem PMB 25/55-60:

ACL 16 S PMB 25/55-60

– v technické dokumentaci se doplňuje uvedením tloušťky vrstvy v milimetrech a označením odpovídající normy.

PŘÍKLAD: Asfaltový beton pro obrusnou vrstvu vozovky s velikostí maximálního zrna 11 mm třídy dopravního zatížení III a silničním asfaltem 50/70, tloušťka vrstvy 40 mm, podle ČSN EN 13108-1 [18].

ACO 11+ 50/70; 40 mm; ČSN EN 13108-1.

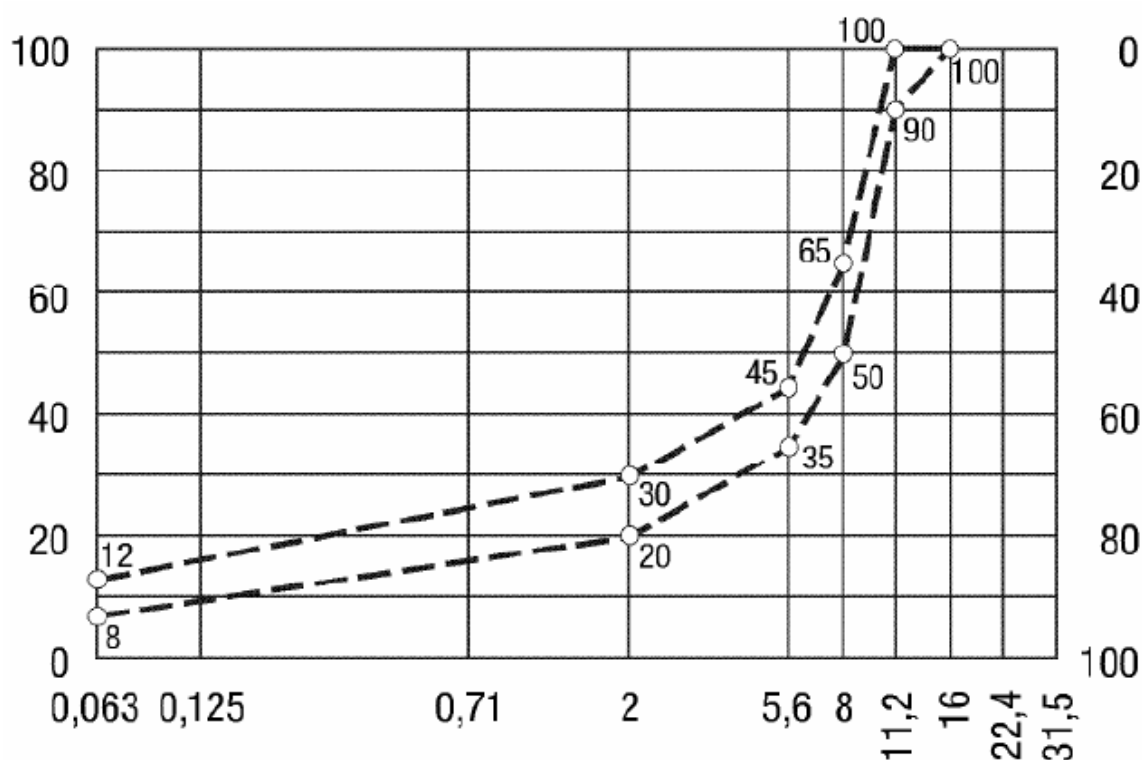
### **3.2.2 Asfaltový koberec mastixový - SMA**

Asfaltový koberec mastixový je určen pro obrusné vrstvy vysoce zatížených silničních a dálničních vozovek a křižovatek. Čára zrnitosti není plynulá, nosnou kostru směsi tvoří nejhrubší a částečně též druhá nejhrubší frakce kameniva, zbývající kamenivo je výplňové společně s asfaltovým pojivem

a kamennou moučkou vytváří asfaltovou maltu – mastix, která vzájemně tmelí zrna nosné kostry.

Tato směs byla vyvinuta v 70. letech v Německu pro vozovky, kde se používaly pneumatiky s hřeby. Protože kostra celé směsi je postavena na vzájemném dotyku velkých zrn, je zapotřebí aby bylo použito vysoce kvalitní kamenivo (zejména je nutná nízká otlukovost a dobrý tvarový index hrubého kameniva).

Obsah asfaltu je ve srovnání s asfaltovým betonem vyšší (cca 6 - 8 %), přičemž se používají v České republice výhradně modifikované asfalty. Aby nedocházelo ke stékání asfaltového pojiva, používají se stabilizační přísady - celulózová vlákna. Požadovaná mezerovitost se při návrhu směsi do obrusných vrstev pohybuje v rozmezí 2,5 – 4,5 %. Obrusná vrstva se považuje při dodržení uvedené mezerovitosti za vodonepropustnou.



**Obr. 5** - Obor zrnitosti asfaltové směsi SMA 11 [28]

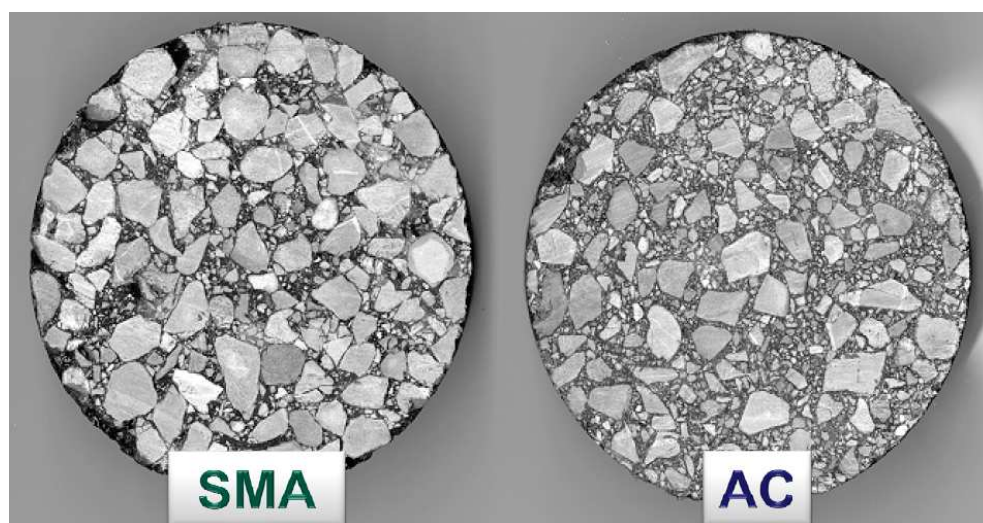


Základní charakteristiky asfaltových koberců mastixových:

- vysoká odolnost proti tvorbě trvalých deformací,
- odolnost proti tvorbě mrazových trhlin,
- příznivá makrotextura a s ní související mírný útlum hluku z dopravy,
- pomalý proces stárnutí,
- dobrá přilnavost k podkladu.



**Obr. 6** - Otevřená textura asfaltového koberce mastixového [29]



**Obr. 7** - Porovnání zrnitosti asfalt. koberce mastixového a asfalt. betonu [28]

#### Označení asfaltového koberce mastixového:

**SMA** označení asfaltového koberce mastixového (vychází z anglického názvu pro = **S**tone **M**astix **A**sphalt)

#### **3.2.3 Asfaltový koberec drenážní - PA**

Asfaltový koberec drenážní je asfaltová směs určená pro obrusné vrstvy silničních a dálničních vozovek. Dále se též v České republice často používá jako podklad pro sportovní hřiště, kdy se na tento podklad pokládá umělý povrch. Jedná se o asfaltovou směs s vysokou mezerovitostí, vyšší jak 16 %. Čára zrnitosti není plynulá, nosnou kostru tvoří kamenivo nejhrubší zastoupené frakce – 70 % a více. Z tohoto důvodu jsou kladeny vysoké požadavky na otlukovost, ohladitelnost a tvarový index kameniva.

Jako asfaltové pojivo se používá silniční asfalt, polymerem modifikovaný asfalt nebo gumoasfalt. V případě použití silničního asfaltu a polymerem modifikovaného asfaltu se používají k zabránění stékání pojiva celulózová vlákna. Při návrhu směsi se požadovaná mezerovitost pohybuje v rozmezí 16 – 30 %.

#### Základní charakteristiky asfaltových koberců drenážních:

- odvádí srážkovou vodu vlastní směsí, která po nepropustném podkladě stéká na okraj vozovky - zlepšení protismykových vlastností, snížení rizika aquaplaningu,
- drenážní koberec se klade na vodou nepropustný podklad – SAMI vrstva (Stress Absorbing Membrane Interlayer). Hutnění se provádí pouze statickými válci bez vibrace, aby nedošlo k rozdrčení kostry,
- snižuje hlučnost jízdy vozidel – hluk z motoru a hluk na kontaktu pneumatika vozovka - snížení o 3 - 5 dB - vhodné u okolní zástavby.



Pro zajištění řádné funkce této vrstvy je zapotřebí:

- pro řádné zajištění odtoku udržovat krajnice tak, aby jejich výška nepřevyšovala povrch podkladní vrstvy,
- při odstraňování sněhu používat radlice s gumovými břity,
- po zimním období vyčistit tlakovou vodou,
- v městských podmínkách je zapotřebí věnovat pozornost napojení hrany komunikace a přilehlého chodníku.

### **3.3 Základní charakteristiky asfaltové směsi**

Základní charakteristika asfaltových směsí je prováděna na základě fyzikálních vlastností asfaltových směsí [32].

**Objemová hmotnost zhutněné asfaltové směsi** je hmotnost při dané zkušební teplotě, připadající na jednotku objemu zkušebního tělesa včetně mezer. Stanovuje se laboratorně vážením ve vodě a na suchu, a nebo přímo na vozovce pomocí radiosondy TROXLER.

**Maximální objemová hmotnost nezhutněné asfaltové směsi** je hmotnost při dané zkušební teplotě, připadající na jednotku objemu zkušebního tělesa bez mezer. Stanovuje se v pyknometru.

**Mezerovitost asfaltové směsi ( $V_m$ )** je podíl objemu vzduchových mezer k celkovému objemu zhutněné asfaltové směsi. Jedná se o nejdůležitější parametr při hodnocení asfaltové směsi.

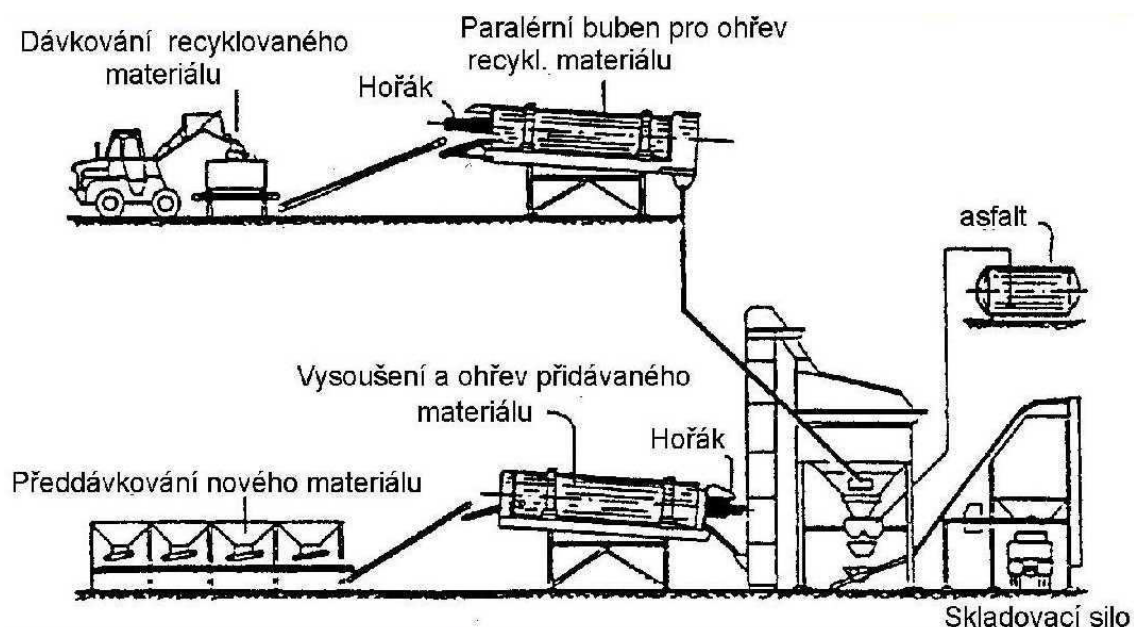
**Stupeň vyplnění mezer pojivem (VFB)** je míra vyplnění mezer v kamenné kostře asfaltovým pojivem v %.

**Mezerovitost směsi kameniva (VMA)** je objem mezer mezi zrny kameniva zhutněné asfaltové směsi, který zahrnuje mezery vyplněné vzduchem a objem asfaltového pojiva ve zkušebním tělese, vyjádřený jako procento celkového objemu zkušebního tělesa.

## 4 Experimentální zkoušení

Záměrem experimentu bylo ověřit in-situ technologii recyklace asfaltových směsí za horka s využitím 30 % a 50 % asfaltového R-materiálu v nově vyráběné asfaltové směsi ACL 22+ na obalovně, a to se souběžným ohřevem kameniva v sušícím bubnu a ohřevem R-materiálu v paralelním bubnu obalovny asfaltových směsí. Schéma takové obalovny je znázorněno na obrázku **Obr. 8**.

Uvedeným výrobním postupem by měla být zajištěna jednak možnost vyšší substituce nového přírodního kameniva, jednak šetrné opětovné využití recyklovatelného materiálu s dílčí aktivací vlastností původního asfaltového pojiva a minimalizovanou energetickou náročností výrobního procesu. Současně byla v asfaltové směsi využita formou přímého dávkování změkčovací přísada STORFLUX a/nebo přísada STORBIT, která nejen změkčuje tvrdé pojivo v R-materiálu, ale navíc dovoluje snížit teplotu zpracování.



**Obr. 8** - Schéma obalovny s paralelním bubnem [30]

## 4.1 Použité asfaltové směsi

Asfaltové směsi ACL 22+ s různým obsahem R-materiálu (30 % resp. 50 %) použité na pokusném úseku byly vyráběny na obalovně asfaltových hutněných směsí značky BENNIGHOVEN s výkonem 160 t/hod firmy Froněk spol. s r.o. (**Obr. 9**). Míchání jednotlivých směsí probíhalo na základě zkoušek typu (ITT – Initial Type Testing) navržených v předchozí diplomové práci [26] pro různé obsahy R-materiálu. Přímou na obalovně byl za účelem ověření a porovnání sledovaných parametrů z každé vyrobené směsi odebírán vzorek směsi za účelem provedení kontrolních zkoušek.



**Obr. 9** - Šaržová obalovna asfaltových směsí fy Froněk s paralelním bubnem pro předehřev asfaltového R-materiálu

U vyráběných směsí bylo sledováno několik aspektů, ovlivňujících jak způsob jejich výroby, tak jejich pozdější zpracování a chování ve vozovce. Na obrázku **Obr. 10** jsou přehledně uvedeny jednotlivé podúseky z celkového pokusného úseku a směsi ACL 22+ s různým dávkováním R-materiálu a použité přísady. Jejich číselné označení zároveň vyjadřuje postup výroby v čase. Dále je z obrázku patrný obsah přidávaného R-materiálu, doba a teplota míchání té které směsi a také přísada v ní použitá (STORFLUX / STORBIT).

Teplota hutnění 150 °C				Teplota hutnění 135 °C			
Doba míchání 25 s	1	ACL 22+ s 30% R-mat.	3	Doba míchání 25 s	5	ACL 22+ s 30% R-mat.	8
	2	ACL 22+ s 50% R-mat.	4		6	ACL 22+ s 50% R-mat.	7
Doba míchání 50 s				Doba míchání 50 s			
STORFLUX				STORBIT			

**Obr. 10** - Přehled vyráběných a používaných směsí

#### 4.1.1 R-materiál použitý ve směsích

R-materiál získaný formou frézování stávajících asfaltových vrstev a/nebo vybouráním celé konstrukce vozovky v podobě ker a desek byl k dispozici přímo na obalovně na samostatné zastřešené skládce. Pro naše účely byl dále podrcen na frakci 0/22 na stacionární technologické lince (**Obr. 11**), kterou je obalovna vybavena. Primární drtič této technologické linky je schopen zpracovat bloky o velikosti až 1800 mm. Tyto bloky jsou tlačeny na rotor se zuby, kde dochází ke mletí bloků a výsledkem je frakce 0/60 mm. Při tomto zpracování nedochází k ucpávání násypky. Nadsítné frakce 0/60 se dostává na sekundární granulátor. Materiál je v kontaktu s rotorem pouze krátkou dobu, z čehož plyne vysoké množství zpracovaného materiálu linkou, menší opotřebení zařízení sloužících k drcení a malé množství jemných částic po zpracování. Další výhodou je, že nedochází k drcení kameniva v recyklátu [26].

a) násypka s vibračním předtřídičem a primárním drtičem

b) spalovací motor s odrazovým drtičem a magnetickým separátorem

c) vynášecí pásový dopravník



**Obr. 11** - Stacionární technologická linka pro drcení asfaltového recyklátu

#### 4.1.2 Přísada STORFLUX [27] [26]

STORFLUX je ropný derivát získaný při sekundární rafinaci. Slouží jako změkčovaadlo k regeneraci oxidovaného asfaltového pojiva v R-materiálu. Obsahuje řadu chemických látek, které velmi úspěšně umožňují aktivaci starého pojiva. Vlastnosti tohoto změkčovaadla jsou vedeny v **Tabulce 2**. Jelikož se jedná o produkt německé firmy STORIMPEX, je složení a reakce s oxidovaným asfaltovým pojivem výrobním tajemstvím. Změkčovaadlo STORFLUX patří do skupiny speciálních fluxačních olejů. Do této skupiny dále patří přísady jako Storflash, Storbit (přísada pro nízkoteplotní asfaltové směsi založena na bázi vosků), Storelastic a další.

**Tabulka 2** – Vlastnosti změkčovaadla STORFLUX [27]

Hustota (při 15°C)	890 - 915	g/l
Viskozita (při 40°C)	80 - 120	mm <sup>2</sup> /s
Bod vzplanutí	> 220	°C
Obsah síry	0,45	%
Obsah vody	< 0,1	%
Obsah popílku	< 1,5	%
Bod tuhnutí	-15	°C
PCB (polychlorované bifenyly)	není zjistitelný	mg/kg
Polyaromatickéúhlovodíky	< 100	mg/kg
Benzo(a)ryren	< 1	mg/kg

#### 4.1.3 Přísada STORBIT [27]

STORBIT je ropný derivát získaný při sekundární rafinaci. Stejně jako STORFLUX slouží jako změkčovaadlo k regeneraci oxidovaného asfaltového pojiva v R-materiálu. Obsahuje řadu chemických látek, které velmi úspěšně umožňují aktivaci starého pojiva. Navíc však obsahuje vosky, které snižují viskozitu. Tím je umožněno snížit teplotu zpracování. Vlastnosti tohoto změkčovaadla jsou uvedeny v následující tabulce.

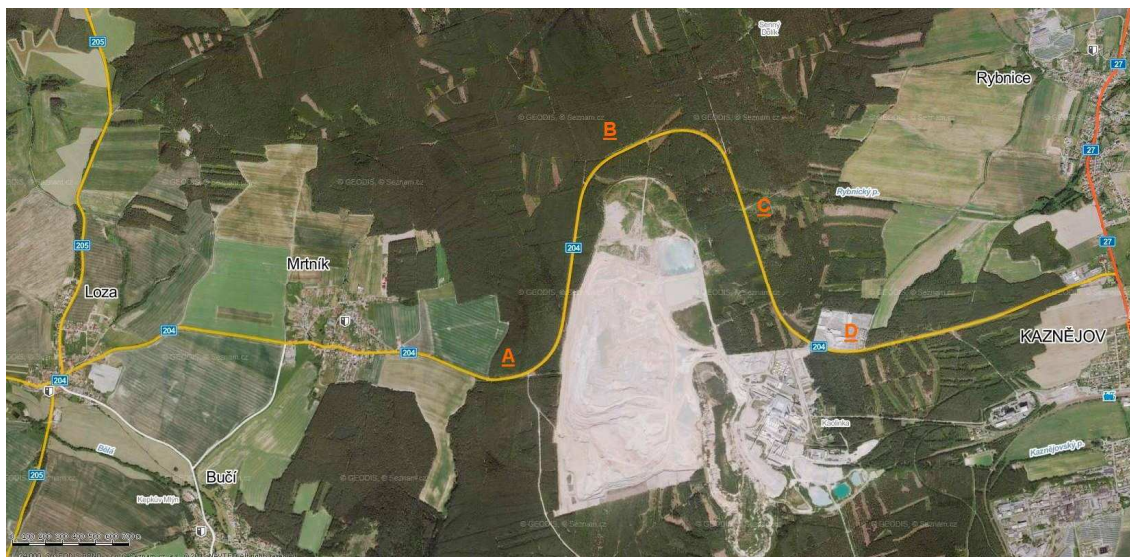


**Tabulka 3** – Vlastnosti změkčovadla STORBIT [27]

Bod tuhnutí	85 – 105	°C
Viksozita (při 120°C)	10 – 11,5	mm <sup>2</sup> /s
Bod vzplanutí	220	°C
Penetrace (při 25 °C)	45 – 55	%
Obsah vody	< 0,1	%
PCB (polychlorované bifenylly)	není zjistitelný	mg/kg
Polyaromatické uhlovodíky	< 100	mg/kg
Benzo(a)ryren	< 1	mg/kg

## 4.2 Popis pokusného úseku

Jedná se o silnici II. třídy v Plzeňském kraji v okrese Plzeň-sever (**Obr. 12**). Silnice II/204 severně od Plzně propojuje hlavní tahy silnic I. tříd a to č. I/27 (Plzeň - Most) a č. I/20. (Plzeň - Karlovy Vary). Silnice je důležitou součástí místní infrastruktury. Je rovněž využívána při neprůjezdnosti zmíněné silnice I/27 z důvodu havárií či větších oprav. Z těchto uvedených faktů a dále z provedených sčítání dopravy vyplývá, že je silnice značně zatěžována.



**Obr. 12** - Satelitní mapa pokusného úseku



**Obr. 13** - Pokusný úsek během pokládky asfaltových hutněných směsí

### 4.3 Kontrolní zkoušky asfaltových směsí

Z jednotlivých vzorků asfaltových směsí odebraných na obalovně byly prováděny kontrolní zkoušky dle souboru norem ČSN EN 12697 respektive ČSN 73 6160 [1] a zjišťovány vlastnosti asfaltových směsí.

#### 4.3.1 Oddělení pojiva od kameniva – extrakce [4], [5]

Pro zjištění vlastností asfaltových směsí je potřeba asfaltové pojivo oddělit od kameniva. Toho dosáhneme pomocí přístroje zvaného analyzátor asfaltové směsi. Toto zařízení slouží k extrahování asfaltové směsi s použitím nehořlavého rozpouštědla, v našem případě trichlorethylenu o bodu varu 87 °C a je znázorněno na obrázku **Obr. 14**.

a) celkový pohled

b) detail na mycí a odstředivou komoru (zleva doprava)

c) promývací a odstředivá patrona



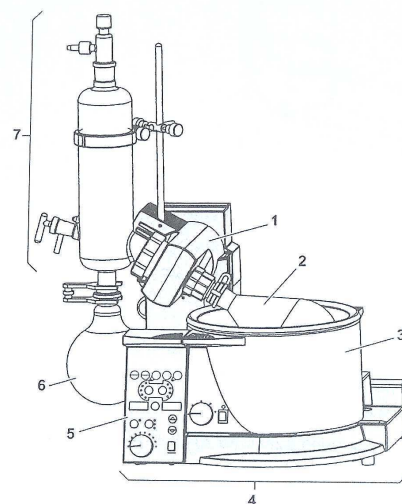
**Obr. 14** - Analyzátor asfaltové směsi

### Postup zkoušky:

Nejprve byl z konkrétní rozehráté asfaltové směsi odebrán homogenizovaný zkušební vzorek o hmotnosti cca 1.500 g. Tímto vzorkem se naplnila promývací patrona, která byla vsazena do mycí komory. Plášť patrony byl tvořen ocelovými síty, z nichž nejmenší bylo síto s oky 0,063 mm. Následně software pomocí ultrazvuku, otáčení promývací patrony a rozpouštědla provedl vymytí asfaltu z asfaltové směsi. Rozpouštědlo, pojivo a filer byly odstřeďovány.

Filer zůstal zachycen na filtračním papíře, který byl vložen do rotující ocelové patrony – odstředivky. Rozpouštědlo a asfalt byly odstředěny a v destilační jednotce od sebe odděleny. Kamenivo zůstalo v mycí komoře a bylo vakuově vysušeno spolu s filerem v patroně odstředivky. Na jednotlivé vymývání bylo potřeba asi 2 l rozpouštědla. Celková doba procesu včetně vysoušení byla cca 30 minut při 4 vymývacích cyklech a každé další vymývání cca 5 min.

V dalším kroku byla provedena extrakce asfaltového pojiva z rozpouštědla v destilační jednotce (**Obr. 15**).



**Obr. 15** - Destilační jednotka: 1 – pohon, 2 – odpařovací baňka, 3 – topná lázeň, 4 – základní přístroj, 5 – ovládací panel, 6 – sběrná baňka, 7 – chladič

Roztok asfaltového pojiva a rozpouštědla, který se měl odpařit, se nacházel v odpařovací baňce (2). V závislosti na termodynamických vlastnostech roztoku se tento uvedl do stavu odpařování vhodně zvolenou kombinací topné lázně (3)



a tlaku ve vakuu. Nastavení se provedlo na obslužném panelu (5) základního přístroje (4) a na regulaci topné lázně (3). Pohon (1) zajišťoval rotaci, která snížila nebezpečí přehřátí kapaliny a zvětšením povrchu roztoku urychlení odpařování. Průchodkou na páru se pára dostávala do chladiče (7), kterým protékala studená voda, kondenzovala a odtékala do sběrné baňky (6).

Pro zjištění obsahu pojiva v kontrolním vzorku byla odečtena hmotnost vysušeného kameniva od hmotnosti původní navážky a je procentuálně vyjádřena vůči hmotnosti původní navážky.

#### **4.3.2 Stanovení čáry zrnitosti – Sítový rozbor [23]**

Na takto separovaném kamenivu od asfaltového pojiva byla sítovým rozbohem stanovena zrnitost kameniva ve zkušebním vzorku, reprezentujícím konkrétní směs. Zkouška zrnitosti spočívá v oddělení a roztřídění kameniva pomocí sady normovaných sít do několika frakcí. Síta jsou seřazena na sobě vzestupně dle velikosti otvorů na sítích 0,063; 0,125; 0,250; 0,50; 1,0; 2,0; 4,0; 8,0; 11,2; 16,0; 22,4 mm (**viz Obr. 16**). Výsledkem sítového rozboru je čára zrnitosti.

##### Postup zkoušky:

Vysušený vzorek kameniva se z mycí patrony nasypal na síta, která byla na sobě poskládána sestupně od síta s největšími otvory. Pod posledním sítem bylo umístěno dno pro zachycení propadu částic menších jak 0,063 mm a na horní síto bylo položeno víko, aby nedocházelo ke ztrátám materiálu. Takto se celá soustava sít usadila na vibrační zařízení určeném pro sítový rozbor, jež se uvedlo do provozu. V důsledku toho se nechalo soustavou sít mechanicky otřásat po dobu 10 minut s přihlédnutím k frekvenci a amplitudě třesacího pohybu.

Poté byla jednotlivá síta odebírána a bylo na nich ručně dokončeno prosévání. Aby nedocházelo ke ztrátě materiálu, bylo vždy pod každé síto vloženo dno. Materiál, který propadl sítem při ručním prosévání, se přesypal na následující síto s menšími otvory. Zůstatek na sítě byl zaznamenán do protokolu zkoušky. Tento postup byl opakován pro všechna síta. Pokud i pod

posledním sítem s otvorem 0,063 mm propadly jemné částice, zaznamenala se jejich hmotnost (**P**).

#### Výpočet:

Veškeré hmotnosti se kterými bylo dosud pracováno, byly průběžně zaznamenávány do zkušebního protokolu, jehož vzorový formulář vypsáný pro směs č. 1 je uveden v příloze **P.1**. Ten byl následně doplněn o hmotnosti zůstatků na každém síti a vyjadřujících procento hmotnosti původní vysušené navážky  $M_1$ . Dále se stanovilo procento jemných částic (**f**), které propadly na dno sítem 0,063 mm podle následujícího vztahu [23]:

$$f = ((M_1 - M_2) + P) / M_1 \times 100$$

kde  $M_1$  je hmotnost vysušené zkušební navážky (v kg);

$M_2$  hmotnost vysušeného zůstatku na síti 0,063 mm (v kg);

**P** hmotnost propadu jemných částic na dně (v kg)



**Obr. 16** - Třesací zařízení pro síťový rozbor kameniva

#### Výsledky zkoušek jednotlivých směsí:

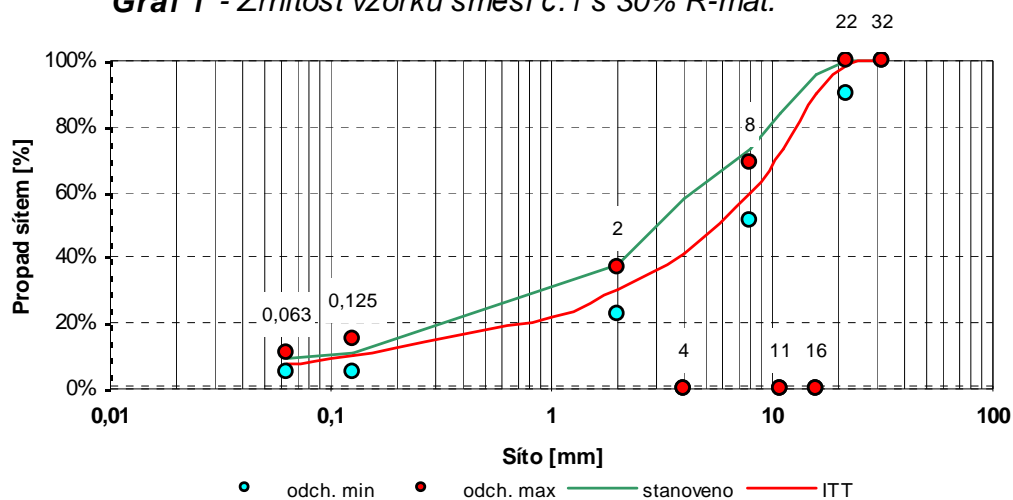
Naměřené hodnoty a následné výpočty byly zpracovány počítačově, čára zrnitosti byla vykreslena do grafu a vše bylo zaznamenáno v podobě protokolů, které jsou uvedeny v příloze **P.2 – P.9**. Propady na sítích u jednotlivých směsí jsou přehledně uvedeny v **Tabulce 4**.

**Tabulka 4 - Propady na sítích pro ACL 22+ dle ČSN EN 13108-1 [18]**

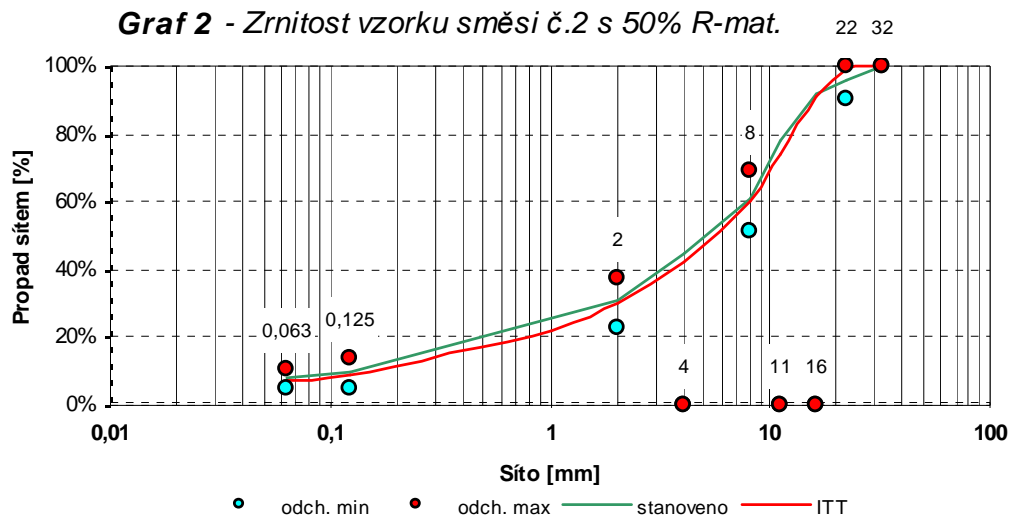
Zrnitost/ síto (mm)	ACL 22 +	Směs číslo								ACL 22+ s 30% R-materiálu	ACL 22+ s 50% R-materiálu
		1	2	3	4	5	6	7	8		
31,5	100	100	100	100	100	100	100	97	100	100	100
22,4	90-100	100	96	100	100	100	100	94	100	99	99
16	70-95	96	92	95	93	90	97	90	95	90	91
11,2	-	84	78	78	74	73	78	70	77	73	74
8	46-72	73	61	66	63	60	65	55	62	60	60
4	-	58	45	53	47	43	49	40	47	41	42
2	18-43	38	31	37	32	30	32	29	32	30	30
0,125	4-15	11	10	11	10	9	10	9	11	10	9
0,063	3-9	8,9	8,5	9,3	8,6	7,9	9	7,5	9,6	7,7	7,5

V následujících **Grafech 1 - 8** byly čáry zrnitosti jednotlivých vzorků směsí porovnány s návrhovou křivkou směsi ACL 22+ s 30 % R-materiálu a/nebo s 50 % R-materiálu v závislosti na výrobkové normě ČSN EN 13108-21 [20], která stanovuje požadavky na kvalitu a řízení výroby u výrobce, jež mají být aplikovány v průběhu výroby asfaltových směsí určených na pozemních komunikacích:

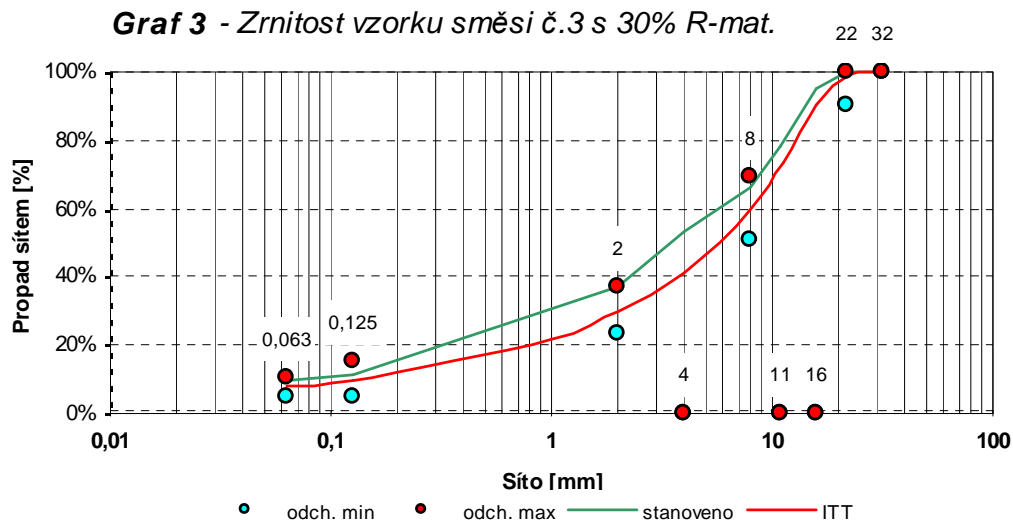
**Graf 1 - Zrnitost vzorku směsi č.1 s 30% R-mat.**



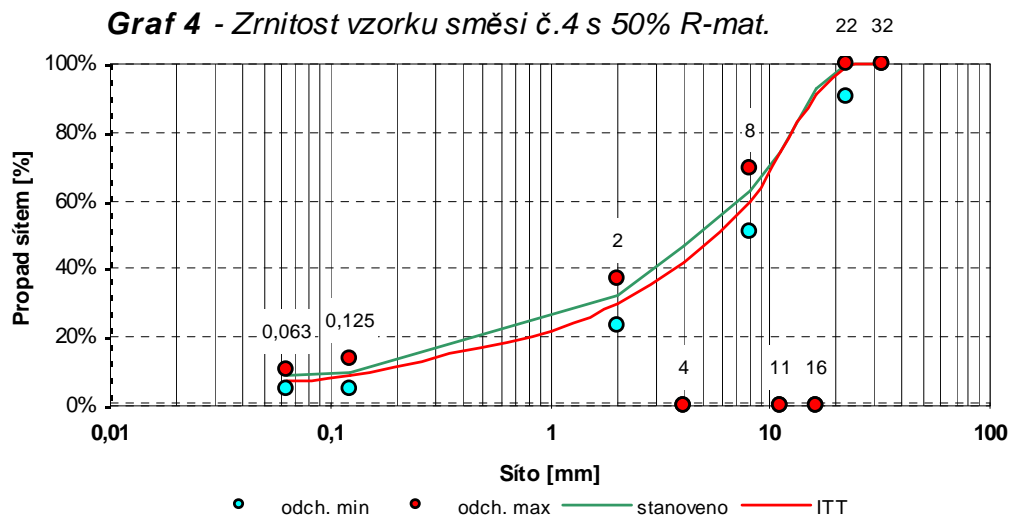
**Graf 2 - Zrnitost vzorku směsi č.2 s 50% R-mat.**



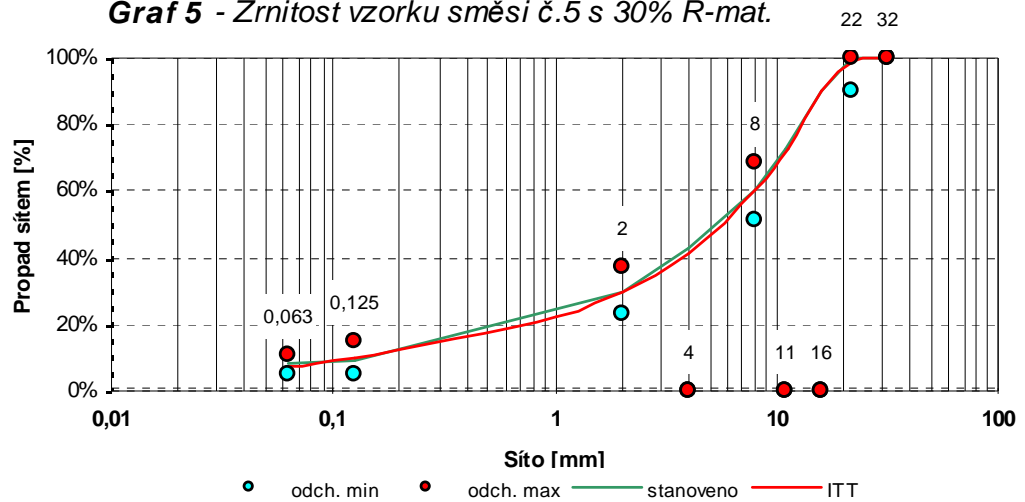
**Graf 3 - Zrnitost vzorku směsi č.3 s 30% R-mat.**



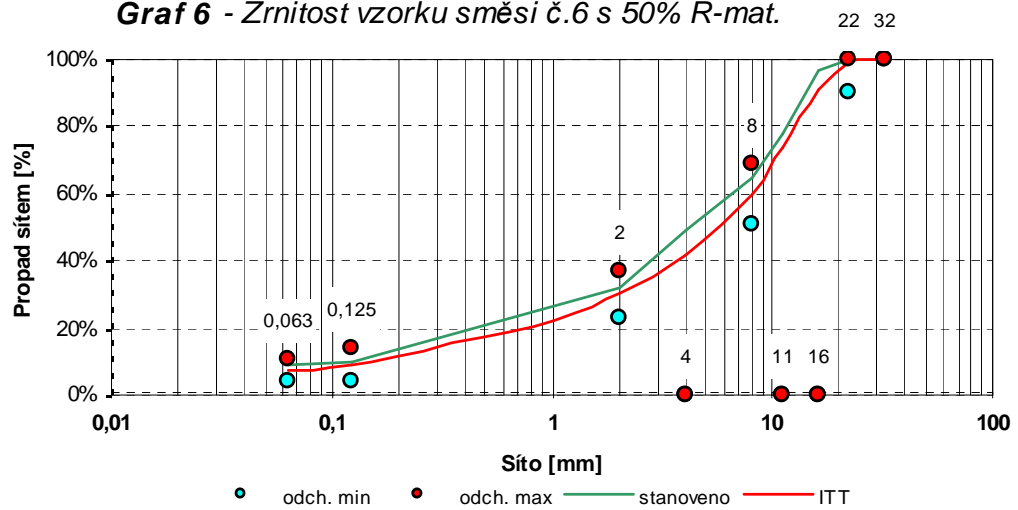
**Graf 4 - Zrnitost vzorku směsi č.4 s 50% R-mat.**



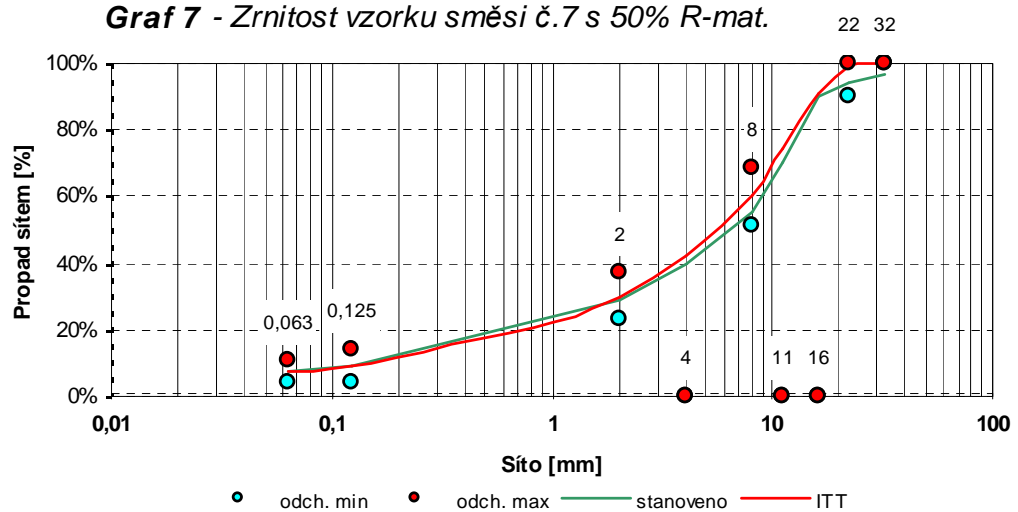
**Graf 5 - Zrnitost vzorku směsi č.5 s 30% R-mat.**



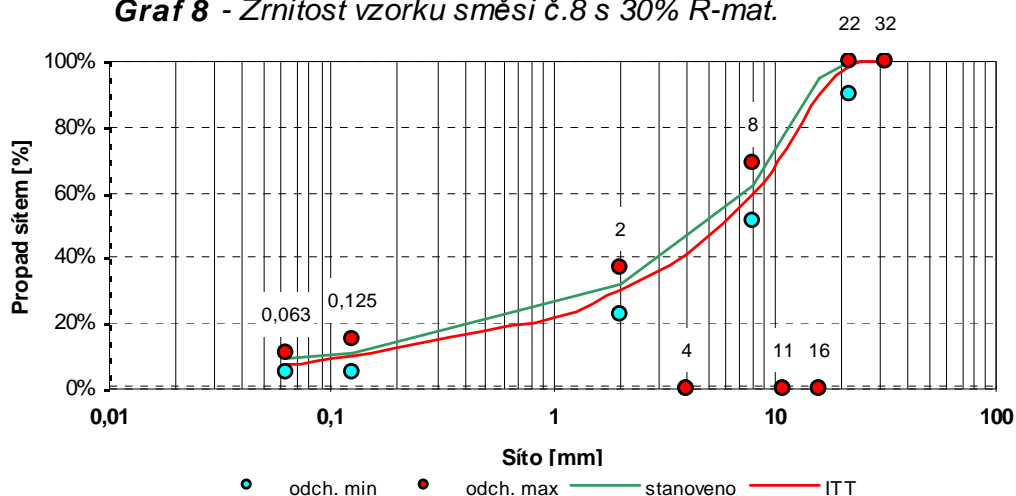
**Graf 6 - Zrnitost vzorku směsi č.6 s 50% R-mat.**



**Graf 7 - Zrnitost vzorku směsi č.7 s 50% R-mat.**



**Graf 8 - Zrnitost vzorku směsi č.8 s 30% R-mat.**



### Vyhodnocení:

Z uvedených grafů a souhrnné **Tabulky 5** resp. **Tabulky 6** vyplývá, že kontrolní vzorky odebrané na obalovně z jednotlivých hotových asfaltových směsí způsobem dle ČSN EN 12697-27 [12] splňovaly kritéria daná Tabulkou A.1 výrokové normy ČSN EN 13108-21 [20]. Pouze u směsi č. 1 byly na sledovaných sítích zaznamenány větší propady, což mohlo být způsobeno nevhodným odběrem kontrolního vzorku na obalovně nebo při výrobě směsi.

Pro kritéria hodnocení byla použita rozpustná část pojiva, která se vypočítala odečtením nerozpustného množství pojiva vypočítaného podle vzorce  $0,014 \times f + 0,05$  od přidávaného množství;  $f$  je obsah částic na síti o velikosti oka 0,063 mm [2].

Stanovený obsah rozpustného pojiva v asfaltové směsi je pro každý kontrolní vzorek směsi pro lepší přehlednost opakovaně uveden také v **Tabulce 7** na straně 40 spolu s maximální objemovou hmotností, objemovou hmotností zkušebního tělesa a mezerovitostí konkrétní směsi.

**Tabulka 5** – Porovnání propadů na sítích u směsí s obsahem 30 % R-mat. s návrhovou křivkou v závislosti na ČSN EN 13108-21 [20]

ČSN EN 13108-21, tab. A.1		Vztažné hodnoty			Stanovené hodnoty			
		Propad deklar.	Rozptyl přípustný		Propad sítem v procentech u směsi č.:			
Propad sítem v procentech hmotnosti	Hrubozrné asfaltové směsi	ITT ACL 22+ s 30% R-mat.	min.	max.	1	3	5	8
D	- 9 + 5	99,0	90,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
D/2 nebo charakter. hrubé síto	± 9	60,0	51,0	69,0	73,0	66,0	60,0	62,0
2 mm	± 7	30,0	23,0	37,0	38,0	37,0	30,0	32,0
Charakteristické jemné síto	± 5	10,0	5,0	15,0	11,0	11,0	9,0	11,0
0,063 mm	± 3	7,7	4,7	10,7	8,9	9,3	7,9	9,6
Obsah rozpustného pojiva	± 0,6	4,2	3,6	4,8	4,7	4,5	4,1	4,2

**Tabulka 6** – Porovnání propadů na sítích u směsí s obsahem 50 % R-mat. s návrhovou křivkou v závislosti na ČSN EN 13108-21 [20]

ČSN EN 13108-21, tab. A.1		Vztažné hodnoty			Stanovené hodnoty			
		Propad deklar.	Rozptyl přípustný		Propad sítem v procentech u směsi č.:			
Propad sítem v procentech hmotnosti	Hrubozrné asfaltové směsi	ITT ACL 22+ s 50% R-mat.	min.	max.	2	4	6	7
D	- 9 + 5	99,0	90,0	100,0	96,0	100,0	100,0	94,0
D/2 nebo charakter. hrubé síto	± 9	60,0	51,0	69,0	61,0	63,0	65,0	55,0
2 mm	± 7	30,0	23,0	37,0	31,0	32,0	32,0	29,0
Charakteristické jemné síto	± 5	9,0	4,0	14,0	10,0	10,0	10,0	9,0
0,063 mm	± 3	7,5	4,5	10,5	8,5	8,6	9,0	7,5
Obsah rozpustného pojiva	± 0,6	4,2	3,6	4,8	4,1	4,3	4,3	3,8

#### 4.3.3 Stanovení maximální objemové hmotnosti [6]

Maximální objemová hmotnost se společně s objemovou hmotností používá k výpočtu obsahu mezer ve zhutněním vzorku a dalších vlastností zhutněné asfaltové směsi, které se vztahují k jejímu objemu.

U volumetrického postupu se maximální objemová hmotnost asfaltových směsí stanoví z objemu vzorku bez mezer a jeho suché hmotnosti. Objem vzorku se měří jako objem vody popřípadě rozpouštědla vytěsněného vzorkem v pyknometru.

##### Postup zkoušky dle volumetrického postupu:

Zkouška se skládá z několika kroků, zachycených na obrázku **Obr. 17**. Nejdříve se zkušební vzorek dané směsi z obalovny temperoval v sušárně na kovovém podnosu při 105 °C až do doby, kdy bylo dosaženo takového stavu, při kterém se vzorek za průběžného ochlazování pod ventilátorem rozdrobil na menší částice a shluky o velikosti max. 6 mm. Materiál se důkladně promíchal a jeho velikost se kvartováním dle ČSN EN 12697-28 [13] zmenšila na zkušební vzorek.

Následně se takto připravený zkušební vzorek nasypal do pyknometru o známé hmotnosti ( $m_1$ ) a objemu ( $V_p$ ) a byla stanovena hmotnost naplněného pyknometru s nástavcem ( $m_2$ ). Poté se do pyknometru nalila destilovaná voda, jejíž hladina dosahovala maximálně 30 mm pod horní okraj pyknometru. Zachycený vzduch se odstranil použitím částečného vakua v přístroji opatřeném vakuometrem za dobu  $15 \pm 1$  minut a hodnota zbytkového tlaku nebyla vyšší než 4 kPa. Nástavec pyknometru se nasadil po opatrném naplnění pyknometru destilovanou vodou až téměř po referenční značku nástavce tak, aby nedošlo k vniknutí vzduchu.

Pyknometr se umístil do předem vytemperované vodní lázně, ve které byla udržována konstantní zkušební teplota  $25 \pm 1$  °C na dobu nejméně 30 minut, ne však déle než na 180 minut, aby se dosáhlo vyrovnání teploty vzorku a vody v pyknometru s teplotou vody ve vodní lázni. V případě, že byl pyknometr naplněn rozpouštědlem, temperoval se ve vodní lázni minimálně 60



minut. Voda ve vodní lázni sahala přibližně do výšky 20 mm pod okraj pyknometru.

Po uplynutí doby potřebné k temperování byl pyknometr doplněn po referenční značku destilovanou vodou, vyjmut z vodní lázně, z vnější strany osušen a ihned byla stanovena jeho hmotnost ( $m_3$ ).

a), b) plnění pyknometru homogenním materiálem

c) odsátí vzduchu pomocí vývěvy

d) temperování ve vodní lázni



**Obr. 17** - Postup zkoušky stanovení maximální objemové hmotnosti

#### Výpočet a výsledky:

Maximální hmotnost asfaltové směsi je vypočtena dle následujícího vzorce:

$$\rho_{mv} = (m_2 - m_1) / 10^6 \times V_p - ((m_3 - m_2) / \rho_w)$$

kde  $\rho_{mv}$  je maximální objemová hmotnost asfaltové směsi ( $\text{Mg/m}^3$ )

$m_1$  hmotnost pyknometru s nástavce (g)

$m_2$  hmotnost pyknometru s nástavcem a zkušební vzorku (g)

$m_3$  hmotnost pyknometru s nástavcem (g)

$V_p$  objem pyknometru při naplnění po referenč. značku nástavce ( $\text{m}^3$ )

$\rho_w$  hustota vody nebo rozpouštědla při zkušební teplotě ( $\text{Mg/m}^3$ )

Hodnoty hustoty vody upravené korekčním faktorem závislým na teplotě jsou uvedeny v příloze **P.10**.

Zkouška stanovení maximální objemové hmotnosti byla provedena ve 3 pyknometrech, kdy byly 2 pyknometry naplněny destilovanou vodou a 1

pyknometr byl naplněný rozpouštědlem, konkrétně trichlorethylenem. Výsledná hodnota byla určena jako průměr dvou hodnot, získaných z pyknometrů naplněných vodou. Pyknometr naplněný trichlorethylenem sloužil ke kontrole.

Výsledky zkoušek pro stanovení maximální objemové hmotnosti jednotlivých asfaltových směsí jsou uvedeny v **Tabulce 7** na straně 40.

#### **4.3.4 Stanovení objemové hmotnosti asfaltového zkušební tělesa [7]**

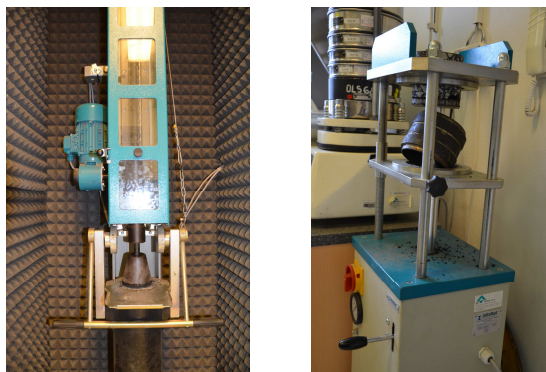
Zkouška pro stanovení objemové hmotnosti se provádí na Marshallových zkušební tělesech, u kterých se stanoví hmotnost a objem.

##### Postup zkoušky:

Nejprve byla z konkrétní rozehráté směsi odebrána navážka pro zhotovení jednoho zkušební tělesa. Velikost navážky závisela na počtu úderů, kterými mělo být těleso hutněno, na druhu asfaltové směsi respektive max. velikosti zrna ve směsi a jmenovité výšce tělesa, která má být dle ČSN EN 12697-30 [15]  $63,5 \pm 2,5$  mm. V tomto případě se jednalo o navážku 1.200 g asfaltové směsi.

Po navážení se ocelová miska s navážkou umístila do sušárny, kde se temperovala na teplotu hutnění 150 °C pro směsi s přísadou STORFLUX, a/nebo na teplotu hutnění 135 °C pro směsi s přísadou STORBIT. Po vytemperování byla asfaltová směs hutněná v předehráté válcové formě Marshallovým pěchem (**Obr. 18**), kdy dle normy ČSN EN 13108-1 [18] je pro ložní vrstvu z ACL 22+ požadováno 2 x 50 úderů hutnícím pěchem.

Po dokončení hutnění se forma s horkým zkušebním tělesem nechala vychladnout pod ventilátorem, to se následně označilo pro pozdější identifikaci a poté bylo z formy vysunuto hydraulickým lisem. Tímto způsobem byla pro určení objemové hmotnosti zhutněné asfaltové směsi vyrobena čtyři Marshalova tělesa.



**Obr. 18** - *Hutnící pěst pro výrobu a hydraulický lis pro vytlačení Marshallových těles*

Objemová hmotnost zkušební tělesa byla stanovena na základě známé hustoty vody, která je závislá na zkušební (okolní) teplotě, dále hmotnosti suchého tělesa, hmotnosti ponořeného, nasyceného tělesa a hmotnosti nasyceného tělesa. Zkušební těleso se ponořilo do vodní lázně temperované na známé zkušební teplotě a ponecháno minimálně 30 minut se sytit vodou. Hodnoty hustoty vody jsou uvedeny v tabulce v příloze **P.10**.

Po nasycení byla stanovena hmotnost ponořeného tělesa, kdy bylo dbáno na to, aby na povrchu tělesa neulpívaly žádné vzduchové bubliny, a nebo z něj nevycházely během vážení. Po zaznamenání hodnoty bylo zkušební těleso vyjmuto z vody a jeho povrch se osušil savou textilií. Okamžitě po povrchovém osušení se stanovila hmotnost tělesa nasyceného vodou.

#### Výpočet a výsledky:

Objemová hmotnost zkušební tělesa je vypočtena dle následujícího vzorce:

$$\rho_{bssd} = (m_1 / (m_3 - m_2)) \times \rho_w$$

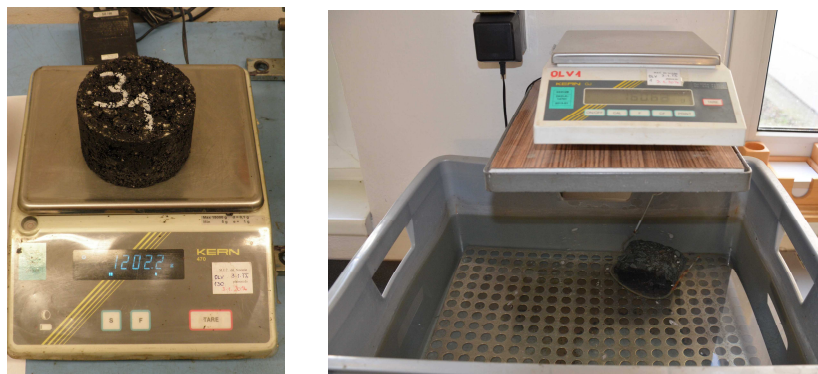
kde  $\rho_{bssd}$  je objemová hmotnost zhuštěného zkušební tělesa ( $\text{Mg/m}^3$ )

$m_1$  hmotnost suchého zkušební tělesa (g)

$m_2$  hmotnost zkušební tělesa ve vodě (g)

$m_3$  hm. zk. tělesa nasyceného vodou a povrchově osušeného (g)

$\rho_w$  hustota vody při zkušební teplotě ( $\text{Mg/m}^3$ ); viz příloha **P.10**



**Obr. 19** - Vážení suchého a ponořeného nasyceného zkušebního tělesa

Pro každou asfaltovou směs byla vyrobena 4 Marshallova tělesa. Výsledná hodnota objemové hmotnosti asfaltové směsi byla vypočtena jako průměr ze čtyř hodnot a výsledky jsou uvedeny v **Tabulce 7**.

**Tabulka 7** – Výsledky kontrolních zkoušek jednotlivých asf. směsí na max. OH, OH zkušebního tělesa, mezerovitosti směsi a obsah pojiva

Číslo směsi	Max. OH [Mg/m <sup>3</sup> ]	OH zkušebního tělesa [Mg/m <sup>3</sup> ]	Mezerovitost [%]	Obsah rozpust. pojiva [%]
1	2,593	2,401	7,4	4,7
2	2,582	2,409	6,7	4,1
3	2,568	2,410	6,2	4,5
4	2,577	2,406	6,6	4,3
5	2,566	2,351	8,4	4,1
6	2,588	2,384	7,9	4,3
7	2,557	2,364	7,5	3,8
8	2,586	2,377	8,1	4,2

Dle požadavků normy ČSN EN 13108-1 [18] se má mezerovitost ( $V_m$ ) u ložní vrstvy z ACL 22+ při kontrolních zkouškách asfaltové směsi nacházet v intervalu 3,0 – 8,0 %.

Postup výpočtu mezerovitosti asfaltové směsi je uveden dále v kapitole **5.3.3** pojednávající o výrobě asfaltové směsi.

#### 4.3.5 Odolnost proti trvalým deformacím – zkouška opakovaného pojíždění kolem [10] [16]

Tento zkušební postup stanovuje náchylnosti asfaltových směsí k trvalé deformaci pod účinkem zatížení.

##### Postup zkoušky:

K provedení zkoušky byla vyrobena dvě zkušební tělesa (desky) pro každou směs. Nejprve byla z konkrétního vzorku asfaltové směsi odebrán vzorek směsi o hmotnosti potřebné pro výrobu zkušební desky. Tato hmotnost byla stanovena v závislosti na maximální objemové hmotnosti a mezerovitosti hutněné směsi, dále na tloušťce desky a na rozměrech formy, ve které byla deska hutněna. Takto získaná navážka byla vložena do sušárny, kde se temperovala na teplotu hutnění 150 °C pro směsi s přísadou STORFLUX, a/nebo na teplotu hutnění 135 °C pro směsi s přísadou STORBIT. Aktuální teplota byla sledována na digitálním teploměru, jehož čidlo bylo umístěno v temperovaném vzorku.

Po dosažení požadované teploty hutnění byla horká směs rovnoměrně rozprostřena do formy lamelového zhutňovače (**viz Obr. 20**). Stěny formy a podkladní deska musely být před naplněním ošetřeny separačním prostředkem aby se zabránilo ulpívání asfaltové směsi na jejich povrchu, potažmo kvůli snadnému vyjmutí zhutněné směsi. Pod podkladní desku byly vloženy distanční rámečky o různé síle vymezující tloušťku desky. Pro asfaltovou směs ACL 22+ je pro zkoušku vyjetí kolem požadována tloušťka desky 60 mm. Na směs byl položen ošetřený ocelový plech o síle 2 mm a na něj byly naskládány jednotlivé lamely. Následně byl na lamely spuštěn válec a formou se nechalo mechanicky pohybovat tam a zpět. Hutnění desky probíhalo zatlačováním lamel konstantní silou od klesajícího válce až po jeho dosednutí na horní okraj formy. Po zatlačení lamel byl pohyb formy po dobu jedné minuty přerušen, aby bylo uvolněno vzniklé napětí ve směsi. Poté byla směs dohutněna několika přejezdy válce.



**Obr. 20** - Zkušební těleso po zhutnění v lamelovém zhutňovači

Takto připravená zkušební tělesa ve tvaru desky o rozměrech stran 320 x 260 x 60 mm (**viz Obr. 21**) se po vychladnutí na laboratorní teplotu vyňala z formy a byla na nich zjištěna objemová hmotnost postupem uvedeným v kapitole **4.3.4**. Dále byla vypočítána míra zhutnění vzhledem k objemové hmotnosti jednotlivých směsí, stanovené na Marshallových zkušebních tělesech a mezerovitost zkušební desky, představující mezerovitost hotové vrstvy. Míra zhutnění se musela vždy pohybovat v rozmezí 98 až 102 % objemové hmotnosti určené Marshallovou zkouškou. Výsledné hodnoty jsou uvedeny v následující tabulce.

**Tabulka 8** – Objem.hmotnosti, míra zhutnění a mezerovitost vyrobených desek

Deska	Přísada	Pojivo	Směs; obsah R-materiálu	Objemová hmotnost [Mg/m <sup>3</sup> ]	Stanovená obj. hm. [Mg/m <sup>3</sup> ]	Hutnění [%]	Mezery [%]
I.1	Storflux; 150 °C	50/70	ACL 22+ s 30 % R-mat	2,418	2,428	100,4	5,4
I.2					2,450	101,3	4,5
II.1		50/70	ACL 22+ s 50 % R-mat	2,449	2,496	101,9	2,7
II.2					2,499	102,0	2,6
III.1		50/70	ACL 22+ s 30 % R-mat	2,418	2,469	102,0	3,8
III.2					2,456	101,6	4,3
IV.1		50/70	ACL 22+ s 50 % R-mat	2,449	2,424	99,0	5,2
IV.2					2,420	98,8	5,4
V.1	Storbit; 135 °C	50/70	ACL 22+ s 30 % R-mat	2,423	2,446	100,9	4,6
V.2					2,452	101,2	4,4
VI.1		50/70	ACL 22+ s 50 % R-mat	2,447	2,482	101,4	3,0
VI.2					2,478	101,3	3,1
VII.1		50/70	ACL 22+ s 50 % R-mat	2,447	2,460	100,5	3,8
VII.2					2,465	100,7	3,7
VIII.1		50/70	ACL 22+ s 30 % R-mat	2,423	2,454	101,3	4,3
VIII.2					2,457	101,4	4,2

Po stanovení objemových hmotností, kontrole míry zhutnění a mezerovitosti asfaltové směsi byly vyrobené zkušební desky zkoušeny na odolnost proti trvalým deformacím. Náchylnost asfaltových směsí k deformaci se usuzuje v závislosti na hloubce vyjeté koleje způsobené opakovaným pojížděním zatěžovacím kolem při stálé teplotě. Zkušební zařízení, tzv. vyjížděč, pro vyjíždění kolem je zkonstruováno tak, aby zajišťovalo pohyb zatíženého kola vpřed a vzad po uchyceném zkušebním tělese. Měřicí zařízení zaznamenávalo nárůst hloubky vyjeté koleje. Zkouška vyjetí kolem byla provedena na malém zkušebním zařízení metodou na vzduchu.

Zkušební těleso bylo před vlastní zkouškou vloženo do ocelové formy, osadilo se do zkušebního zařízení (**viz obr. 22**) a upnulo se šrouby k rámu vyjížděče. Na takto připravené těleso bylo položeno vyjížděcí kolo s gumovou



obručí, které bylo zatíženo závažím. Stejný postup byl dodržen i u druhého zkušebního tělesa.



**Obr. 21** - Zkušební tělesa při laboratorní teplotě a v ocelové formě

Poté se přiklopilo víko zkušebního zařízení a byla spuštěna temperace těles vzduchem. Ta se temperovala nejméně 4 hodiny na danou teplotu 50 °C. Po vytemperování se spustila vlastní zkouška. Kolo se pohybovalo po desce tam a zpět přes střed desky. Zatížením, které se přenášelo přes kolo viskoplastickým chováním vlastního materiálu asfaltové směsi docházelo při každém pojezdu kola k zatlačení kola do povrchu desky, čímž se postupně vyjížděla koleje. Měřicí zařízení zaznamenávalo nárůst hloubky koleje v trajektorii kola č. 1 a kola č. 2 každý sudý pojezd současně se zaznamenáváním skutečné teploty v klimatizované skříni vyjížděče, kdy teplota tělesa byla po dobu zkoušky udržována na hodnotě 50 °C ± 1 °C. Zkouška byla ukončena po 10.000 zatěžovacích cyklech a z rozdílu počáteční a finální polohy kola byla vypočtena hloubka vyjeté koleje.



**Obr. 22** - Malé zkušební zařízení pro zkoušku opakovaného pojíždění



### Výpočty a výsledek:

Výsledkem zkoušky byl aritmetický průměr z měření na dvou deskách. Vyhodnocení se provádělo v grafu, kde se na vodorovné ose vynesl počet pojezdů kolem a na svislé vypočítaná střední hloubka koleje. Podle normy ČSN EN 12697-22+A1 [10] byly vyhodnocovány následující parametry zkoušky opakovaného pojezdu kolem:

- Průměrný přírůstek hloubky vyjeté koleje na vzduchu **WTS<sub>AIR</sub>** (Wheel Tracking Ratio), což je přírůstek hloubky vyjeté koleje na 1.000 zatěžovacích cyklů, o kterou narůstá hloubka koleje opakovanými přejezdy zatěžovacího kola mezi 5 a 10.000 cykly. Průměrný přírůstek vyjeté koleje vyjádřený v mm na 10<sup>3</sup> zatěžovacích cyklů se vypočítá jako:

$$WTS_{AIR} = d_{10.000} - d_{5.000} / 5$$

kde  $WTS_{AIR}$  je přírůstek hloubky vyjeté koleje (mm/10<sup>3</sup> zatěžovacích cyklů)

$d_{10.000}$ ,  $d_{5.000}$  hloubka vyjeté koleje po 10.000 a 5.000 cyklech (mm)

- Relativní (poměrná) hloubka vyjeté koleje **PRD** (Proportional Ruth Depth), která se vypočítala jako hloubka vyjeté koleje dělená tloušťkou desky a vyjádřila se v procentech na základě následujícího vztahu:

$$PRD_{AIR} = d_{5.000} / t_d$$

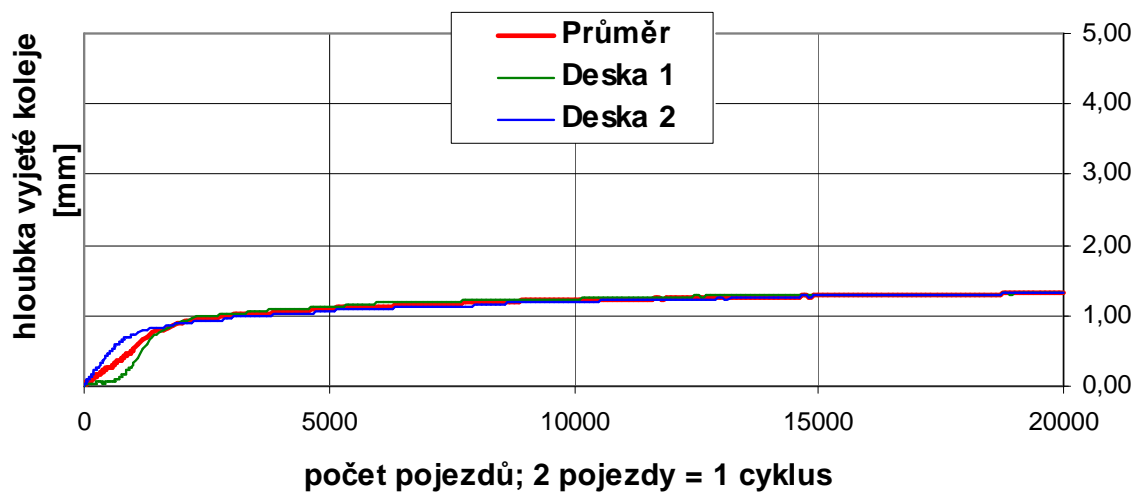
kde  $PRD_{AIR}$  je poměrná průměrná hloubka vyjeté koleje (%)

$d_{5.000}$  hloubka vyjeté koleje po 5.000 cyklech (mm)

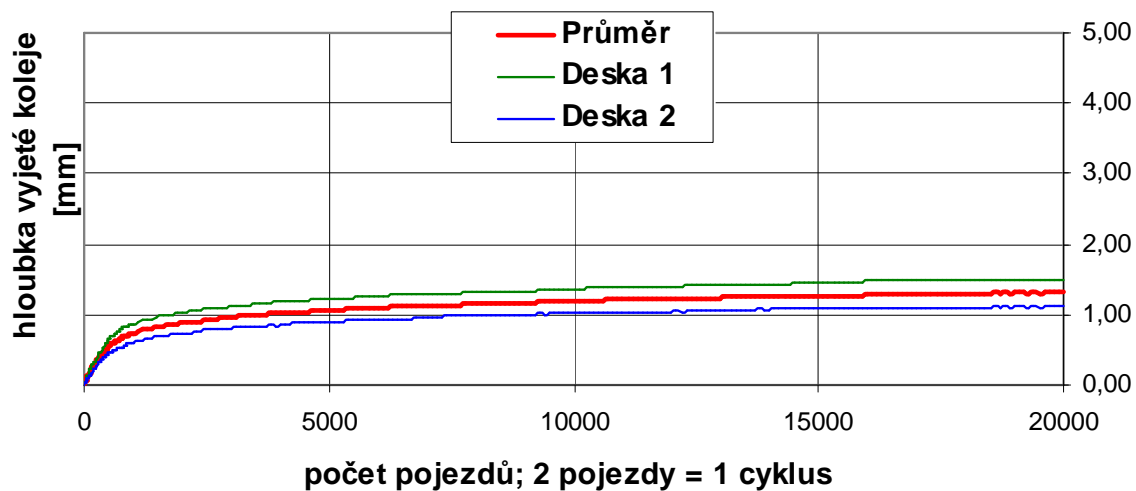
$t_d$  tloušťka desky (mm)

Výsledné hodnoty  $WTS_{AIR}$  a  $PRD_{AIR}$  byly pro každou směs zvlášť vyneseny do grafů, na nichž je patrný zřetelný průběh nárůstu hloubky koleje.

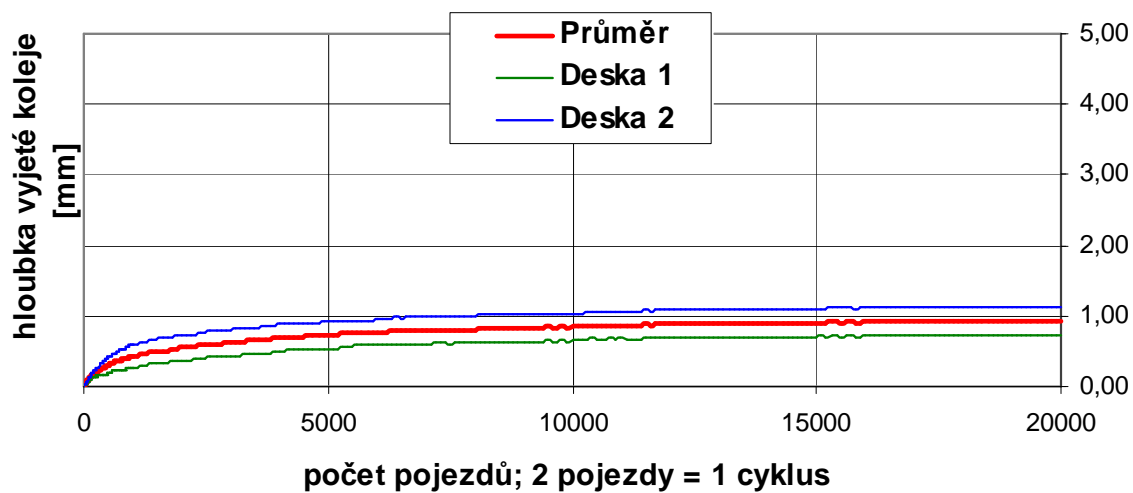
**Graf 9 – Průběh hloubky vyjeté koleje u směsi č. 1**



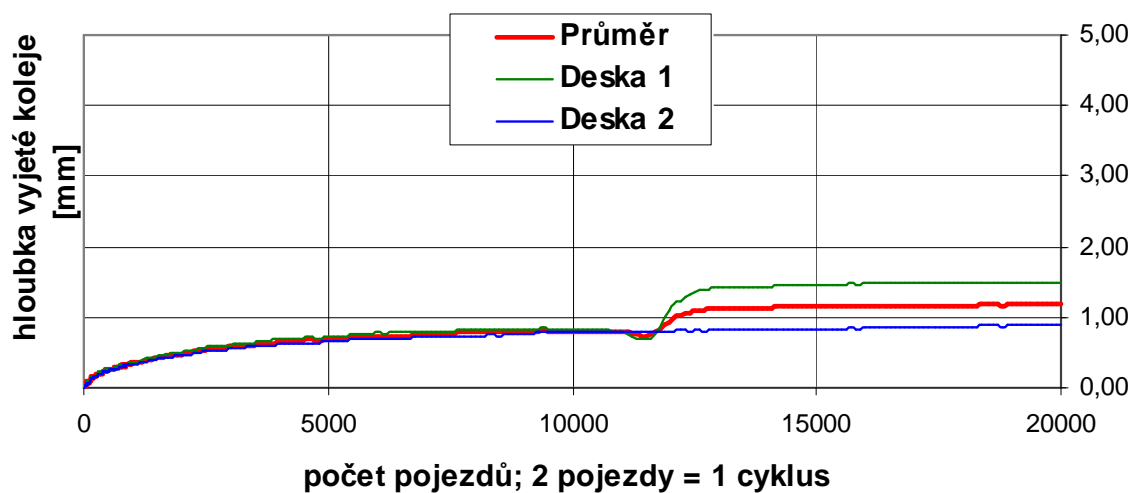
**Graf 10 – Průběh hloubky vyjeté koleje u směsi č. 2**



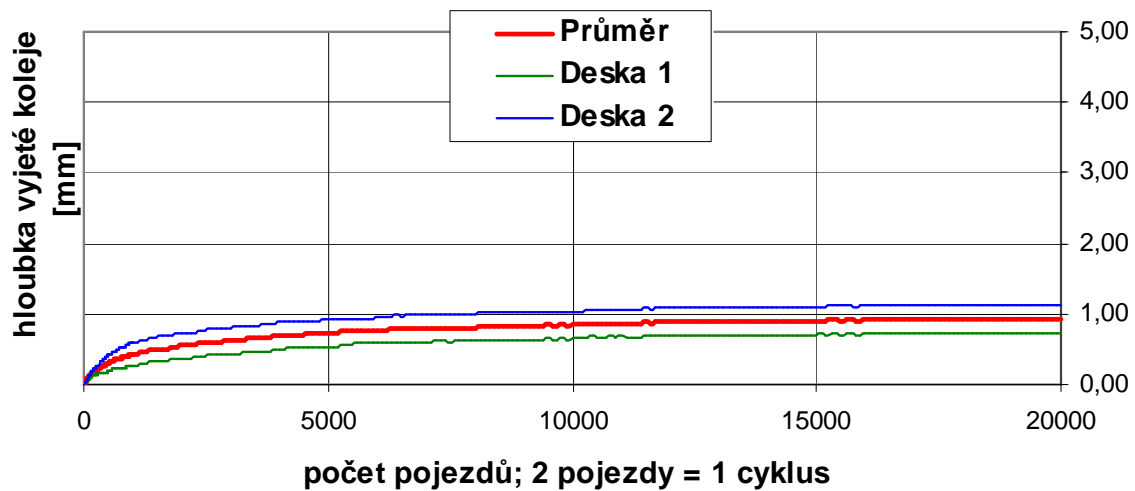
**Graf 11 – Průběh hloubky vyjeté koleje u směsi č. 3**



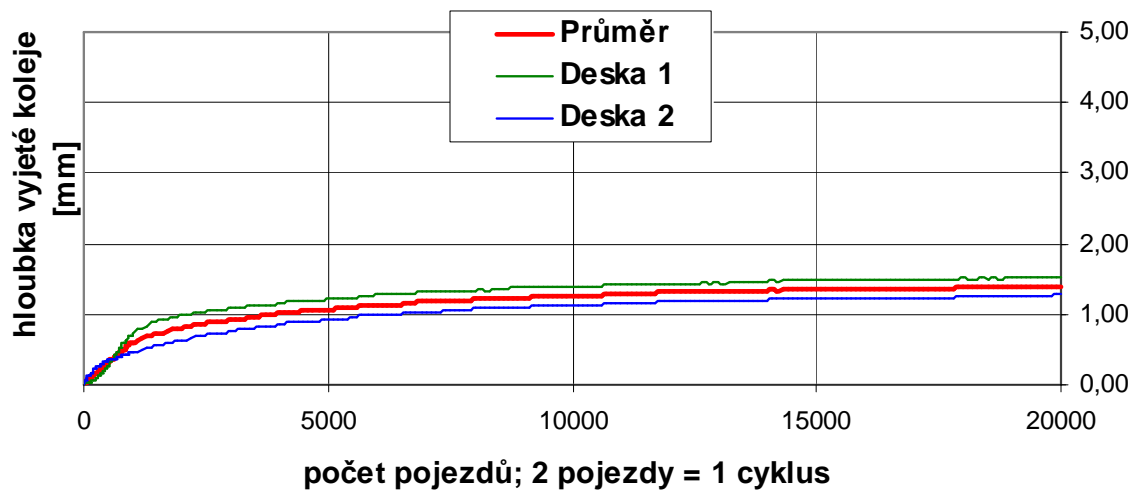
**Graf 12 – Průběh hloubky vyjeté koleje u směsi č. 4**



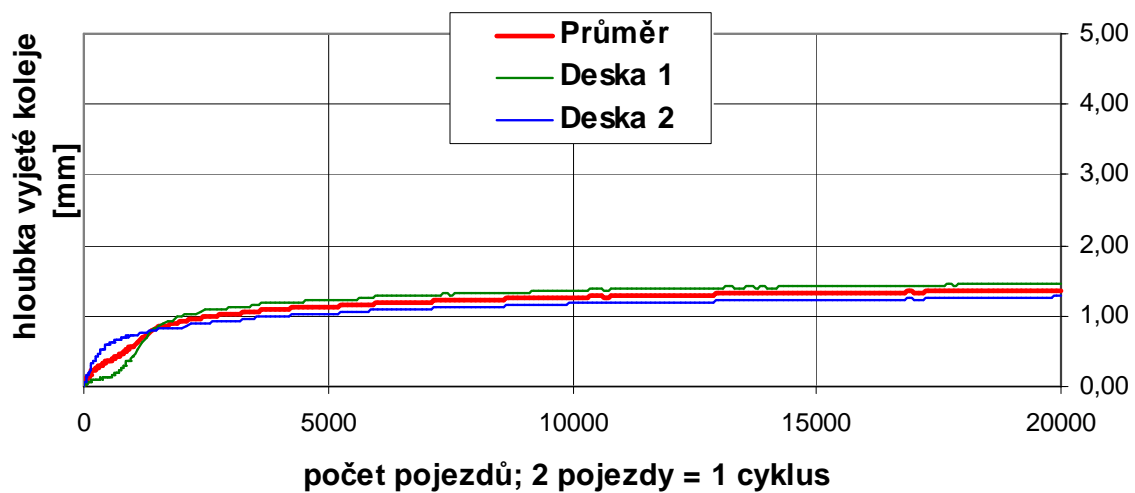
**Graf 13 – Průběh hloubky vyjeté koleje u směsi č. 5**



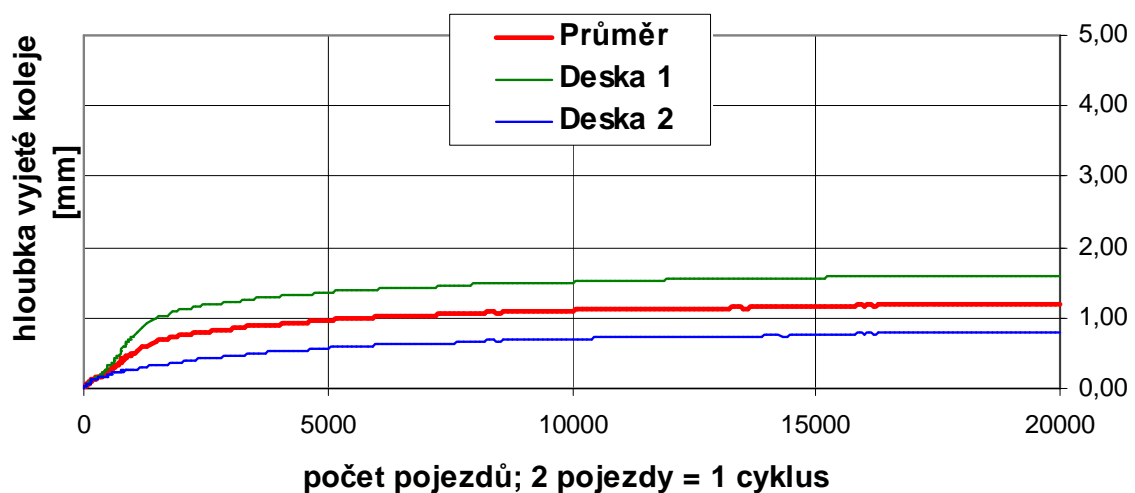
**Graf 14 – Průběh hloubky vyjeté koleje u směsi č. 6**



**Graf 15 – Průběh hloubky vyjeté koleje u směsi č. 7**



**Graf 16 – Průběh hloubky vyjeté koleje u směsi č. 8**



Výsledky měření jednotlivých směsí s různým obsahem R-materiálu, různými přísadami, zpracovávaných za různých teplot a různé doby míchání jsou uvedeny v následující tabulce:

**Tabulka 9** – Souhrnný přehled výsledků zkoušky na trvalé deformace pomocí zkoušky opakovaného pojiždění kolem

Deska	Přísada; teplota míchání	Doba míchání	Pojivo	Směs; obsah R-materiálu	Přírůstek hloubky koleje <b>WTS<sub>AIR</sub></b> [mm]	<b>PRD<sub>AIR</sub></b> [%]
I.1	Storflux; 150 °C	25 s	50/70	ACL 22+ s <b>30 % R-mat</b>	<b>0,02</b>	<b>2,0</b>
I.2						
II.1			50/70	ACL 22+ s <b>50 % R-mat</b>	<b>0,02</b>	<b>2,0</b>
II.2						
III.1		50 s	50/70	ACL 22+ s <b>30 % R-mat</b>	<b>0,03</b>	<b>1,1</b>
III.2						
IV.1			50/70	ACL 22+ s <b>50 % R-mat</b>	<b>0,02</b>	<b>1,4</b>
IV.2						
V.1	Storbit; 135 °C	25 s	50/70	ACL 22+ s <b>30 % R-mat</b>	<b>0,02</b>	<b>1,4</b>
V.2						
VI.1			50/70	ACL 22+ s <b>50 % R-mat</b>	<b>0,03</b>	<b>2,1</b>
VI.2						
VII.1		50 s	50/70	ACL 22+ s <b>50 % R-mat</b>	<b>0,02</b>	<b>2,1</b>
VII.2						
VIII.1			50/70	ACL 22+ s <b>30 % R-mat</b>	<b>0,02</b>	<b>1,8</b>
VIII.2						

Dle Tabulky NA-E.5.2 normy ČSN EN 13108-1 [18] jsou hodnoty  $WTS_{AIR}$  a  $PRD_{AIR}$  pro ložní vrstvu ACL 22+ deklarovány pouze pro vozovky s TDZ II nebo pro vozovky s pomalou a zastavující dopravu pro TDZ III, v obou případech pouze při použití nemodifikovaného pojiva.

#### 4.4 Dílčí vyhodnocení 1. části DP

Z výsledků zkoušky opakovaného pojíždění kolem vyplývá několik poznatků:

1. Přítomnost R-materiálu v asfaltové směsi, a to i ve zvýšeném množství než je v dnešní době obvyklé, nemá negativní vliv na tvorbu trvalých deformací. Naopak v některých případech byla dokonce zaznamenána vyšší odolnost proti tvorbě trvalých deformací u asfaltových směsí s vyšším obsahem R-materiálu. Tuto skutečnost lze vysvětlit přítomností tvrdšího pojiva obsaženého v R-materiálu a z toho plynoucích výsledných hodnot penetrace a bodu měknutí uvedené v **Tabulce 10** a v **Tabulce 11** (viz str. 58, 60).
2. Porovnáním různých dob míchání asfaltové směsi při výrobě bylo prokázáno, že delší doba míchání, konkrétně 50 s oproti 25 s, má pozitivní vliv na tvorbu kolejí. Toto bylo zřetelněji zaznamenáno u směsí s obsahem přísady STORFLUX.
3. Snížená teplota míchání na 135 °C nemá při použití přísady STORBIT podstatný vliv na změnu vlastností asfaltových směsí u sledované zkoušky pojíždění kolem. To je ve své podstatě potvrzením původních návrhů směsí (ITT) s přísadami STORBIT a STORFLUX, ze kterých byly odvozeny tzv. ekviviskózní teploty (rozdílné teploty hutnění směsí pro obě přísady při dosažení stejné viskozity) = STORFLUX 150 °C a STORBIT 135 °C.
4. Při teplotě 50 °C, při které se provádí zkouška vyjíždění kolem, má vosk v přísadě STORBIT podstatně vyšší viskozitu, což by se mělo projevit ve větší odolnosti asfaltových směsí proti tvorbě trvalých deformací. Tento předpoklad se však nenaplnil.

## **5 Druhá část DP – přísada STORELASTIC**

Ve druhé části diplomové práce byla věnována pozornost přísadě STORELASTIC. Tato přísada primárně slouží jako alternativa k modifikacím polymery, kdy není zapotřebí mít speciální tank na modifikované asfalty na obalovně, ale přidávat tuto přísadu přímo do míchačky, kdy obalovna nevyrábí směsi s modifikovaným asfaltovým pojivem v průběhu roku ve velkém množství. Přidáním přísady STORELASTIC při výrobě asfaltové směsi s běžnými silničními asfalty jsou výrobcem přísady, firmou STORIMPEX Unternehmensgruppe, deklarovány vlastnosti takto vyrobené směsi podobné těm, jichž dosahují směsi vyráběné s modifikovanými asfalty.

Cílem zkoušení tedy bylo vzájemné srovnání funkčních vlastností asfaltové směsi typu ACL 22+ s běžným modifikovaným asfaltem a téže směsi s nemodifikovaným asfaltem s přísadou STORELASTIC tak, aby mohl být na obalovně asfaltových směsí firmy Froněk spol. s r.o. eliminován tank na skladování modifikovaných asfaltů. Na obou navržených směsích byly provedeny funkční zkoušky a porovnány vyhodnocované parametry.

### **5.1 Modifikované asfalty [24]**

Stále rostoucí zatížení silniční sítě vyžaduje řádnou údržbu vozovek a kvalitní asfaltové směsi pro jejich výstavbu. V mnoha případech již klasická asfaltová pojiva nestačí a je třeba aplikovat pojiva modifikovaná. Modifikované asfalty a některé novější typy konstrukčních vrstev se v České republice začaly masově používat od devadesátých let minulého století. Modifikované asfalty zvyšují únosnost a životnost asfaltových vozovek, čímž splňují i podmínky pro další rozvoj automobilové dopravy.

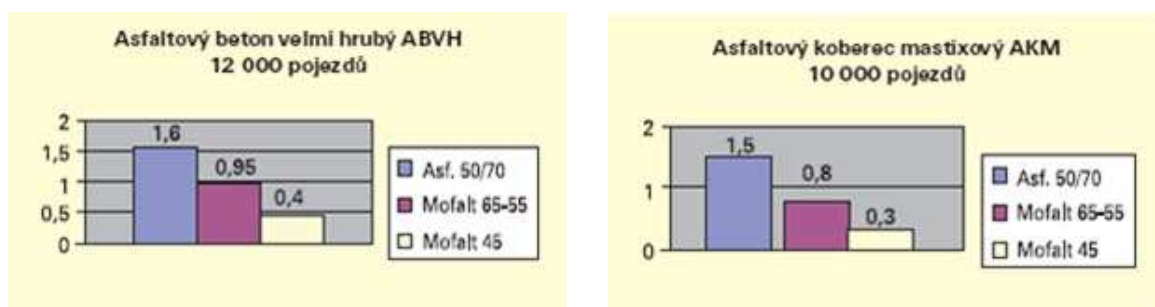
Modifikované asfalty jsou asfaltová pojiva, jejichž fyzikální a mechanické vlastnosti byly upraveny přísadou polymeru. Jsou při normální teplotě polotuhé až tuhé homogenní hmoty stabilní vůči rozsazování při skladování. Neobsahují vodu a mechanické nečistoty. V anglických a německých textech a v nové



evropské normě EN 14023 se uvádějí zkratkou PmB (**P**olymer **m**odified **B**itumen, **P**olymer **m**odifizierter **B**itumen). Modifikované asfalty procházejí ve světě neustálým a jsou zaváděny na bázi termoplastického kaučuku styrén-butadién-styrénového (SBS) – typ Standard. Postupným vývojem se přešlo na chemicky zesíťnou modifikaci pomocí reaktivního elastomerního terpolymeru (RET) - typ Extra.

V porovnání s běžnými asfaltovými pojivy se u asfaltových směsí, připravených s modifikovanými pojivy, dosáhne výrazného zvýšení odolnosti proti tvoření trvalých deformací a to zejména při vysokých teplotách za současného snížení teplotní citlivosti. Výrazně se zlepšují únavové vlastnosti a tím i trvanlivost vozovek 2 – 2,5krát. Dále se zlepšuje přilnavost ke kamenivu, vlastnosti při nízkých teplotách a také odolnost proti tvoření mrazových trhlin. Důležitým předpokladem k dosažení kvalitativních požadavků modifikovaných asfaltů je správná volba základního asfaltu. Základní asfalt k modifikaci musí být optimálně kompatibilní s přidávanými polymery. Jednotlivé asfalty mají různou rozpouštěcí schopnost danou jejich chemickým složením.

Použitím asfaltových pojiv modifikovaných elastomery či plastomery se dosáhne zvýšení odolnosti hutněných směsí k vyjíždění kolejí. Výsledky zkoušek různých modifikovaných pojiv na vybraných směsích ukazuje následující obrázek.



**Obr. 23** - Vliv modifikovaného pojiva asfaltu na hloubku koleje [24]

## 5.2 Přísada STORELASTIC [27]

STORELASTIC je kombinace přísad z pryžového granulátu, Fischer Tropsch vosku a Storfulxu, což je speciální destilát, získaný druhou rafinací.

Jedná se o nový rozvinutý produkt firmy Storimpex Unternehmensgruppe pro výrobu v asfaltové produkci.

Modifikace asfaltu Storelasticem přináší zvýšení stability, zlepšení chování při nízkých teplotách, optimalizovanou přilnavost ke kamenivu, snížení hluku pneumatik. Při opětovném použití asfaltu dochází k reaktivaci na oxidované pojivo a dosahuje se zlepšení jeho komponentů.

Jedná se o vynikající alternativu k polymerem modifikovanému asfaltu, protože má srovnatelný účinek a navíc nabízí ještě další výhody.

Dosud se pryžově modifikovaný asfalt používá na výrobu drenážního asfaltu a Splittmastixasfaltu. V zásadě ale může být tato modifikace použita u všech typů asfaltů.

### 5.2.1 Složení

STORELASTIC je směs z pryžového granulátu, vosku a Storfluxu, která vzniká speciálním homogenním výrobním procesem. Z pryžového granulátu jsou získány podobné vlastnosti jako u polymeru, přičemž další dvě složky slouží jako změkčovaadlo a tužidlo pojiva.

Pryžový granulát se získává z vybraných použitých pneumatik a má velikost zrnka do 0,8 mm. V této souvislosti se jedná o pneumatiky pro nákladní automobily (LKW), které mají obzvlášť vysoký podíl přírodního kaučuku. Při výrobě Storelasticu jsou výhradně používány pneumatiky z nákladních vozidel, bez vzorku, příměsí. Definované výrobní vstupy a permanentní monitorování výroby garantují perfektní kvalitu produktu.

Je také dostupný jako Big Bag, s objemem přibližně 1 tuna.

### **5.2.2 Výroba STORELASTIC Asfaltu (SEA)**

Výroba SEA v míchacím zařízení obalovny asfaltových směsí je jednoduše technicky realizovatelná pomocí přídavných zásobníků a dávkovacích systémů pro vyztužení jednotlivých přísad - obdobně jako u výroby Splittmastixasfalu. Přidávání do směsi se uskutečňuje tzv. suchým procesem. Zde je SEA příslušným dávkováním přidán přímo do směsi v míchacím zařízení a během procesu míchání se rozvíjí jeho účinek. Nastává tedy nepřímá modifikace pojiva a přímá modifikace asfaltové směsi. Pro dosažení bezchybné kvality se osvědčilo prodloužení doby míchání o 10 sekund.

### **5.2.3 Výhody při výrobě SEA**

- prakticky nulová přilnavost při dávkování do míchacího zařízení (ventily, trubky, asfaltová váha, atd.)
- prakticky bez zápachu díky pryžové modifikaci
- snadná výroba pryžově modifikovaného asfaltu
- odstranění přidání vláken při výrobě Splittmastixasfaltu
- doporučené dávkování STORELASTICU - přibližně 10 % celkového objemu pojiva

### **5.2.4 Pokládka SEA**

Používání Storelacticem modifikovaného asfaltu je stejné jako u práce s konvenčními asfalty. Jedinou podmínku je, aby proces zhutňování byl dokončen nejpozději při 80 °C.

Jako zvláštnost je nutné zmínit, že pokládka SEA je možná i při nižší venkovní teplotě. Další důležitou vlastností je stabilita položené vrstvy, vzhledem k použitým Storelastic komponentům a vosku, které byly vyrobeny jedinečným způsobem.

### **5.2.5 Unikátní vlastnosti**

Snížení nákladů na polymery, vlákna a stejně tak snížení teploty míchání a teploty při samotné pokládce směsi až o 30 °C při zachování stejné zhutnitelnosti činí ze STORELASTICU ve srovnání s modifikovanými asfalty jedinečný produkt.

Kromě toho, Storelastic lze dávkovat přesně na hmotnost požadovaného obsahu pojiva.

### **5.2.6 Výhody přísady STORELASTIC**

- výhodná alternativa z hlediska nákladů k polymerem modifikovaným asfaltům
- zlepšení stability
- zlepšená odolnost proti stárnutí
- skladovatelnost v silu nebo také v Big Bag
- opětovné, neomezené použití asfaltu
- snížení teploty pokládky až o 30 °C v závislosti na tloušťce pokládané vrstvy
- ekologické a ekonomické vlastnosti na špičkové úrovni
- zlepšení přilnavosti ke kamenivu
- snížení hluku pneumatik z pneumatik od projíždějících automobilů

## **5.3 Návrh a výroba asfaltových směsí**

Pro návrh asfaltových směsí pro ložní vrstvy ACL 22+ bylo použito kamenivo a asfaltový recyklát firmy Froněk spol. s r.o. Před vlastní návrhem (výrobou) asfaltových směsí bylo nutné určit (zkontrolovat) vlastnosti asfaltového pojiva obsaženého v přidávaném R-materiálu frakce 0/22 a čáru zrnitosti původní asfaltové směsi. Za tímto účelem byla provedena separace kameniva od pojiva. Tento postup je již popsán v kapitole **4.3.1**. Na získaném

vzorku čistého kameniva byla provedena zkouška zrnitosti metodou síťového rozboru, jejíž postup je uveden v kapitole **4.3.2**. Výsledkem síťového rozboru byla čára zrnitosti. Pro zjištění obsahu pojiva v recyklátu byla odečtena hmotnost separovaného kameniva od hmotnosti původní navážky. Tato hodnota je percentuelně vyjádřena k hmotnosti původní navážky. Výsledný obsah pojiva v asfaltovém recyklátu stejně jako čára zrnitosti recyklátu jsou zaznamenány do protokolu v příloze **P.11.**

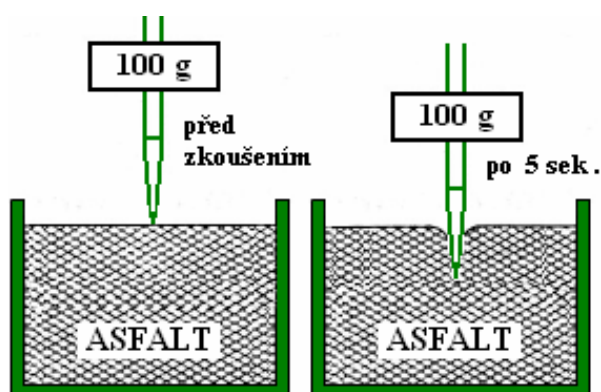
Pojivo vyextrahované v destilační jednotce bylo rozlito do připravených prstenců sloužících ke zkoušce pro určení bodu měknutí a do plechové kádinky, která byla určena pro zjištění penetrace pojiva jehlou.

### 5.3.1 Tvrdost asfaltového pojiva – stanovení penetrace jehlou [21]

Zkouška spočívá v měření hloubky, kterou dosáhne pronikající jehla penetrometru do zkoušeného vzorku asfaltového pojiva při teplotě  $(25 \pm 0,1) ^\circ\text{C}$  a celkové zátěži 100 g působící na jehlu po dobu 5 s. Viz schéma na obrázku **Obr. 24a**.

a) Schématické znázornění penetrace [31]

b) Penetrometr a nádoba s asf. pojivem ve vodní lázni



**Obr. 24** - Zkoušení asfaltového pojiva – penetrace jehlou

#### Postup zkoušky:

Asfaltové pojivo bylo v sušárně temperováno na teplotu, kdy bylo dostatečně tekuté a bylo jej možno nalít do zkušební nádoby. Nádoba se naplnila do výšky 5 mm pod okraj. Pokud při nalévání vznikly na povrchu

viditelné vzduchové bubliny, vzorek se opatrně promíchal skleněnou tyčinkou, aby byly tyto bubliny odstraněny. Zahřáté pojivo se nechalo zchladnout na 1 – 2 hodiny. Po ochlazení byl vzorek umístěn do vodní lázně penetrometru (**Obr. 24b**) s řízenou teplotou, kde se ponechal na perforované podložce temperovat na teplotu  $(25 \pm 0,1) ^\circ\text{C}$ .

Před provedením vlastní penetrace se musela deska penetrometru nacházet ve vodorovné poloze. V opačném případě bylo této polohy docíleno pomocí stavěcích šroubů. Do vodní lázně s vodou vytemperované na teplotu  $(25 \pm 0,1) ^\circ\text{C}$ , která byla umístěna na desce penetrometru, se vložila předem vytemperovaná nádobka se zkušebním vzorkem. Výška hladiny vody ve vodní lázni byla nad povrchem vzorku asfaltového pojiva nejméně 10 mm. Jehla s mírně zploštělým hrotem se zasunula do tyče penetrometru a zaaretovala. Hrot jehly byl nastaven pomocí stavěcí matice přesně tak, aby se dotýkal povrchu asfaltového pojiva a stupnice penetrometru byla vytárována na nulu. Tímto byl vzorek připraven pro zkoušku. Následně se jehla uvolnila a po dobu 5 sekund byla zatěžována 100 g. Výsledná hodnota byla odečtena na stupnici penetrometru a byla stanovena jako desetina milimetru. Výsledná hodnota penetrace byla stanovena jako průměr z 3 měření (vpichů) a je uvedena v **Tabulce 10**. Vzájemná vzdálenost jednotlivých vpichů a vzdálenost od stěn zkušební nádoby musela být minimálně 10 mm. Po každém vpichu se jehla musela zbavit případných nečistot aby byla zcela čistá pro následující vpich.

#### Výsledek zkoušky:

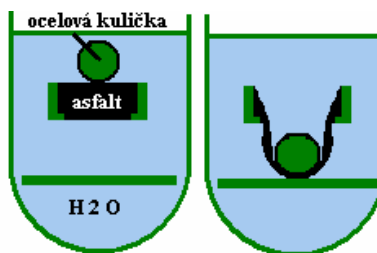
**Tabulka 10** – Výsledek penetrační zkoušky [0,1 mm]

R-mat. 0/22; Silniční asfalt 50/70			
Vpich 1 [pen]	Vpich 2 [pen]	Vpich 3 [pen]	Výsledná penetrace [pen]
26	25	26	<b>26</b>

Penetrace stanovená na asfaltovém pojivu vyextrahovaného z asfaltového recyklátu byla příliš nízká. Proto bylo nutné upravit pojivo vhodnou přísadou.

### 5.3.2 Bod měknutí – zkouška kroužek kulička (KK) [22]

Metoda kroužek – kulička (KK) se provádí pro stanovení bodu měknutí. Jedná se o teplotu, při které se asfalt nacházející se v kroužku předepsaných rozměrů za podmínek zkoušky změkne natolik, že se tlakem ocelové kuličky protáhne na stanovenou míru. To znamená, že se dotkne spodní destičky zkušebního zařízení. Viz schéma na obrázku **Obr. 25**.



**Obr. 25** - Zkoušení asfaltového pojiva – bod měknutí (KK) [32]

#### Postup zkoušky:

Mosazné kroužky, které byly určeny pro stanovení bodu měknutí, se zahřály přibližně na teplotu vytemperovaného asfaltu a položili se na kovovou destičku, která byla potřená jemným filmem vazelíny. Destička je natřena z důvodu snadnějšího sundání po ochlazení asfaltu. Předehřátý asfalt nalijeme do připravených kroužků s mírným přebytkem nad horním okrajem kroužku (**Obr. 26a**). Takto připravené vzorky se nechají vychladnout při laboratorní teplotě. Následně se zahřátou špachtlí seřízne přečnívající vrstva asfaltu, tak aby povrch asfaltu byl hladký a zarovnaný s horním okrajem kroužku.

Kroužky se vzorkem se vloží do otvorů v horní destičce stojanu a do otvoru uprostřed destičky se umístí teploměr, tak aby nejnižší bod rtuťové nádobky teploměru byl na úrovni spodní plochy asfaltu v kroužcích. Na kroužky se vzorkem asfaltu se umístí centrovací prstence a celý stojan se společně se zkušebními kuličkami ponoří do skleněné kádinky s destilovanou vodou vytemperovanou na teplotu  $(5 \pm 1) ^\circ\text{C}$  tak, aby její hladina převyšovala asi o 5 cm horní okraj kroužků. Po uplynutí 15 minut se stojan vyjme a do středu plochy asfaltu v každém kroužku uložíme zkušební kuličky. Poloha těchto kuliček je vymezena šroubky, před zahájením samotné zkoušky se ujistíme, zdali může

kulička přes tyto šroubky volně procházet. Poté se stojan spustí zpět do nádoby, kterou umístíme na topnou desku a zahříváme tak, aby teplota vody stejnoměrně stoupala rychlostí  $(5 \pm 0,5) ^\circ\text{C}$  za minutu.

a) nalití asf. pojiva



b) stojan s kroužky a centr. prstenci



c) Automat K + K digital



**Obr. 26** - Postup zkoušky kroužek - kulička

**Tabulka 11** – Výsledek zkoušky kroužek - kulička

R-mat. 0/22; Silniční asfalt 50/70		
Levý kroužek [ $^\circ\text{C}$ ]	Pravý kroužek [ $^\circ\text{C}$ ]	Bod měknutí [ $^\circ\text{C}$ ]
60,2	60,6	<b>60,4</b>

Při porovnání asfaltových směsí se vycházelo z předpokladu, že se porovná směs s pojivem 50/70 a 50 % R-materiálu s modifikovaným asfaltem PmB 25/55-55, kdy se nemodifikované pojivo zmodifikuje přísadou STORELASTIC, která zároveň naměkčí pojivo v R-materiálu. Do modifikovaného asfaltu PmB 25/55-55 se přidá přísada STORFLUX na změkčení přidávaného R-materiálu.

Vzhledem k faktu, kdy výsledek zkoušky KK prokázal, že pojivo obsažené v asfaltovém recyklátu nevyhovuje požadavkům normy ČSN EN 12591 [3] která uvádí, že teplota bodu měknutí silničního asfaltu 50/70 se má nacházet v intervalu  $46 - 54 ^\circ\text{C}$ , byla z tohoto důvodu během výroby asfaltové směsi do zahřátého recyklátu přidána přísada STORFLUX na “změkčení” pojiva. Ta způsobila snížení bodu měknutí pojiva.



Dávkování přidávané přísady STORFLUX vychází z předpokladu, kdy množství přidávaného změkčovačla závisí na množství pojiva obsaženého v asfaltovém recyklátu, na bodu měknutí pojiva v asfaltovém recyklátu a na bodu měknutí přidávaného pojiva.

Do R-materiálu vytemperovaného na teplotu míchání se proto přidávalo změkčovačlo o hmotnosti 1 % z hmotnosti asfaltového pojiva, které bylo v R-materiálu obsaženo. Tím se snížil bod měknutí asfaltového pojiva v recyklátu o 1 °C. Výsledný bod měknutí asfaltového pojiva ve směsi tak byl snížen na hodnotu požadovanou výrobcem modifikovaného asfaltu.

Příklad:

Bod měknutí přidávaného pojiva:	55 °C
Bod měknutí pojiva obsaženého v R-materiálu:	60,4 °C
Množství asf. pojiva v R-materiálu:	5,4 %
Hmotnost přidávaného R-materiálu:	4.000 g
Požadavek výrobce modifikovaného asfaltu - bod měknutí:	55 °C

Výpočet:

Snížení bodu měknutí pojiva v R-materiálu o 5 °C (na 55 °C)

*Hmotnost pojiva v R-materiálu:*

$$m_{p,R-mat} = \%pojiva \times m_{R-mat} = 0,054 \times 4.000 = 216 \text{ g}$$

*Hmotnost změkčovačla pro snížení bodu měknutí o 1 °C:*

$$m_{STORF,1^{\circ}\text{C}} = 1\% \times m_{p,R-mat} = 0,01 \times 216 = 2,16 \text{ g}$$

*Hmotnost změkčovačla pro snížení bodu měknutí o 5 °C :*

$$m_{STORF} = \text{počet snížených stupňů} \times m_{STORF,1^{\circ}\text{C}} = 5 \times 2,16 = 10,8 \text{ g}$$

Pro snížení bodů měknutí pojiva ve 4.000 g R-mat. o 5 °C je potřeba **10,8 g** změkčovačla STORFLUX.

### 5.3.3 Výroba asfaltové směsi č. 10 - ACL 22+; PmB 25/55-55; 50 % R-mat.

Laboratorní výroba této směsi vycházela z čáry zrnitosti, podle které jsou vyráběny asfaltové směsi na obalovně Bennighoven firmy Froněk s.r.o. Tato čára zrnitosti byla dále upravena z hlediska mezerovitosti dle požadavků normy ČSN EN 13108-1 [18] v předchozí diplomové práci [26] a je uvedena v příloze **P.12**. Pro naše účely však bylo změněno asfaltové pojivo 50/70 na polymerem modifikovaný asfalt 25/55-55.

Nejdříve byl R-materiál a kamenivo vysušen při teplotě  $110 \pm 5$  °C. Po vychladnutí byly podle Zkoušky typu (ITT) naváženy hmotnosti jednotlivých frakcí kameniva a R-materiálu. Tyto navážky pak byly spolu s PmB 25/55-55 opět vloženy do sušárny a temperovány na teplotu míchání (160 °C). Aktuální teplota byla sledována na digitálním teploměru, jehož čidlo bylo umístěno v temperovaném vzorku kameniva. Po dosažení požadované teploty míchání bylo do vytemperovaného R-materiálu aplikováno změkčovadlo STORFLUX, jehož hmotnost byla stanovena výpočtem viz výše. Tato přísada byla do asfaltového recyklátu dávkována za důkladného ručního promíchání na plechovém podnosu. Vzhledem k tomu, že během míchání došlo k ochlazení recyklátu, byl tento následně umístěn zpátky do sušárny. Po uplynutí doby potřebné k dorovnání požadované teploty se asfaltová směs míchala v nádobě laboratorní míchačky zobrazené **na Obr. 27**. Nádoba a míchací hák byly rovněž předeřhřáty v sušárně.



**Obr. 27** - Horkovzdušný sterilizátor a laboratorní míchačka asf. směsí

V této nádobě se nejprve smíchal filer s drobným kamenivem (frakce 0/2 a 2/4). Následně byly do recyklátu na plechovém podnosu přisypány zbývající frakce kameniva. Po pečlivém ručním promíchání recyklátu s kamenivem bylo na váze nadávkováno asfaltové pojivo. Poté byla směs míchána v míchačce do doby, kdy došlo k dokonalému obalení zrn kameniva asfaltovým pojivem.

Takto vyrobená směs byla dále zpracovávána dle potřeby použití – k výrobě Marshallových těles a zkušebních desek. Horká homogenizovaná směs byla navažována do plechových nádob podle požadované hmotnosti a následně umístěna do sušárny, kde byla temperována na požadovanou teplotu.

V první řadě však byla zkouškou Stanovení maximální objemové hmotnosti a zkouškou Stanovení objemové hmotnosti asfaltového zkušebního tělesa podle postupů, které jsou popsány v kapitole **4.3.3** a kapitole **4.3.4** a jejichž výsledky jsou uvedeny v **Tabulce 12** ověřena mezerovitost směsi ( $V_m$ ) na základě normy ČSN EN 13108-1 [18].

Výpočet mezerovitosti vyrobené asfaltové směsi byla provedena v souladu s ČSN EN 12697-8 [8] a podle vzorce:

$$V_m = (p_{mv} - p_{bssd} / p_{mv}) \times 100$$

kde  $V_m$  je mezerovitost asfaltové směsi (%)

$p_{bssd}$  objemová hmotnost zhutněné asfaltové směsi ( $\text{kg/m}^3$ )

$p_{mv}$  maximální objemová hmotnost asfaltové směsi ( $\text{kg/m}^3$ )

**Tabulka 12** – Výpočet mezerovitosti u směsi ACL 22+; PmB 25/55-55

Pyknometr	Max. objemová hmotnost	Max. OH průměrná	Zhutněná objem. hm.	Mezerovitost ( $V_m$ )
číslo	[ $\text{kg/m}^3$ ]	[ $\text{kg/m}^3$ ]	[ $\text{kg/m}^3$ ]	[%]
P1	2 589	2 572	2 445	<b>4,9</b>
P2	2 573			
P3	2 570			

### 5.3.4 Výroba asfaltové směsi č. 9 - ACL 22+; 50/70; 50 % R-mat.; STORELASTIC

Postup výroby asfaltové směsi byl totožný jako při výrobě předchozí směsi s tím rozdílem, že místo přísady STORFLUX byla do R-materiálu vytemperovaného na teplotu míchání přidávána přísada STORELASTIC o hmotnosti 13 % z hmotnosti celkového množství asfaltového pojiva (přidávaného i obsaženého v R-materiálu).

Prvotní návrh této směsi vycházel rovněž z čáry zrnitosti od Zkoušky typu (ITT), jež je uvedena v příloze **P.12**. Lišil se pouze v obsahu přidávaného asfaltu a v hmotnosti přidávaného R-materiálu. Asfaltová směs vyrobená dle tohoto návrhu však po zkoušce Stanovení maximální objemové hmotnosti a zkoušce Stanovení objemové hmotnosti asfaltového zkušebního tělesa podle postupů, které jsou popsány v kapitole **4.3.3** a kapitole **4.3.4** a jejichž výsledky jsou uvedeny v **Tabulce 13** nevyhověla v kontrolní zkoušce na mezerovitost, která byla provedena v souladu s ČSN EN 12697-8 [8].

**Tabulka 13** – 1. výpočet mezerovitosti u asfaltové směsi ACL 22+; 50/70; STORELASTIC

Pyknometr	Max. objemová hmotnost	Max. OH průměrná	Zhutněná objem. hm.	Mezerovitost ( $V_m$ )
číslo	[kg/m <sup>3</sup> ]	[kg/m <sup>3</sup> ]	[kg/m <sup>3</sup> ]	[%]
P1	2 585	2 568	2 400	<b>6,5</b>
P2	2 569			
P3	2 567			

Dle požadavků normy ČSN EN 13108-1 [18] má být při návrhu asfaltové směsi mezerovitost ( $V_m$ ) u ložní vrstvy z ACL 22+ v intervalu 4,0 – 6,0 %.

V následujících návrzích byly postupně měněny čára zrnitosti a/nebo obsah přidávaného asfaltu a/nebo obsah přidávaného R-materiálu, vždy s ohledem na výsledky předchozích návrhů, které jsou uvedeny v následujících **Tabulkách 14 – 17**. Jednotlivé návrhy asfaltové směsi jsou přiloženy v příloze **P.13 – P.17**.

**Tabulka 14** – 2. výpočet mezerovitosti z návrhu (dtto dále) u směsi ACL 22+; 50/70; STORELASTIC

Pyknometr	Max. objemová hmotnost	Max. OH průměrná	Zhutněná objem. hm.	Mezerovitost ( $V_m$ )
číslo	[kg/m <sup>3</sup> ]	[kg/m <sup>3</sup> ]	[kg/m <sup>3</sup> ]	[%]
P1	2 594	2 575	2 403	<b>6,7</b>
P2	2 581			
P3	2 570			

**Tabulka 15** – 3. výpočet mezerovitosti u směsi ACL 22+; 50/70; STORELASTIC

Pyknometr	Max. objemová hmotnost	Max. OH průměrná	Zhutněná objem. hm.	Mezerovitost ( $V_m$ )
číslo	[kg/m <sup>3</sup> ]	[kg/m <sup>3</sup> ]	[kg/m <sup>3</sup> ]	[%]
P1	2 572	2 561	2 401	<b>6,3</b>
P2	2 556			
P3	2 567			

**Tabulka 16** – 4. výpočet mezerovitosti u směsi ACL 22+; 50/70; STORELASTIC

Pyknometr	Max. objemová hmotnost	Max. OH průměrná	Zhutněná objem. hm.	Mezerovitost ( $V_m$ )
číslo	[kg/m <sup>3</sup> ]	[kg/m <sup>3</sup> ]	[kg/m <sup>3</sup> ]	[%]
P1	2 531	2 506	2 415	<b>3,6</b>
P2	2 502			
P3	2 510			

**Tabulka 17** – 5. výpočet mezerovitosti u směsi ACL 22+; 50/70; STORELASTIC

Pyknometr	Max. objemová hmotnost	Max. OH průměrná	Zhutněná objem. hm.	Mezerovitost ( $V_m$ )
číslo	[kg/m <sup>3</sup> ]	[kg/m <sup>3</sup> ]	[kg/m <sup>3</sup> ]	[%]
P1	2 535	2 484	2 388	<b>3,8</b>
P2	2 477			
P3	2 491			

Po telefonickém prokonzultování dosavadních neúspěšných pokusů při návrhu asfaltové směsi s technologem výrobce přísady STORELASTIC, bylo přistoupeno k výrobě předmětné směsi přímo v míchacím centru, tedy na obalovně firmy Froněk s.r.o. Výroba byla provedena dle návrhu č. 3 uvedeného v příloze č. **P.15**. Vyrobená směs byla položena na pokusném úseku v místě obalovny a během pokládky byl odebrán zkušební vzorek za účelem stanovení mezerovitosti směsi ( $V_m$ ). V následující **Tabulce 18** jsou uvedeny vyhovující výsledky měření podle postupů, které jsou popsány v kapitole **4.3.3** a kapitole **4.3.4**.

**Tabulka 18** – 6. výpočet mezerovitosti u směsi ACL 22+; 50/70; STORELASTIC

Pyknometr	Max. objemová hmotnost	Max. OH průměrná	Zhutněná objem. hm.	Mezerovitost ( $V_m$ )
číslo	[kg/m <sup>3</sup> ]	[kg/m <sup>3</sup> ]	[kg/m <sup>3</sup> ]	[%]
P1	2 581	2 571	2 466	<b>4,1</b>
P2	2 568			
P3	2 574			

Z výše uvedeného vyplývá, že asfaltovou směs s přísadou STORELASTIC nelze vyrobit v laboratorních podmínkách, naopak míchání musí probíhat přímo v míchacím centru na obalovně asfaltových směsí. Toto míchání je jednak důkladnější, důslednější a vyrobená směs je díky velkým objemům vstupních materiálů více homogenizovaná, než směs vyrobená pomocí laboratorní míchačky v malém množství, a také přítomnost pryžového granulátu má nezanedbatelný vliv na výsledné vlastnosti asfaltové směsi.

## 5.4 Funkční zkoušky

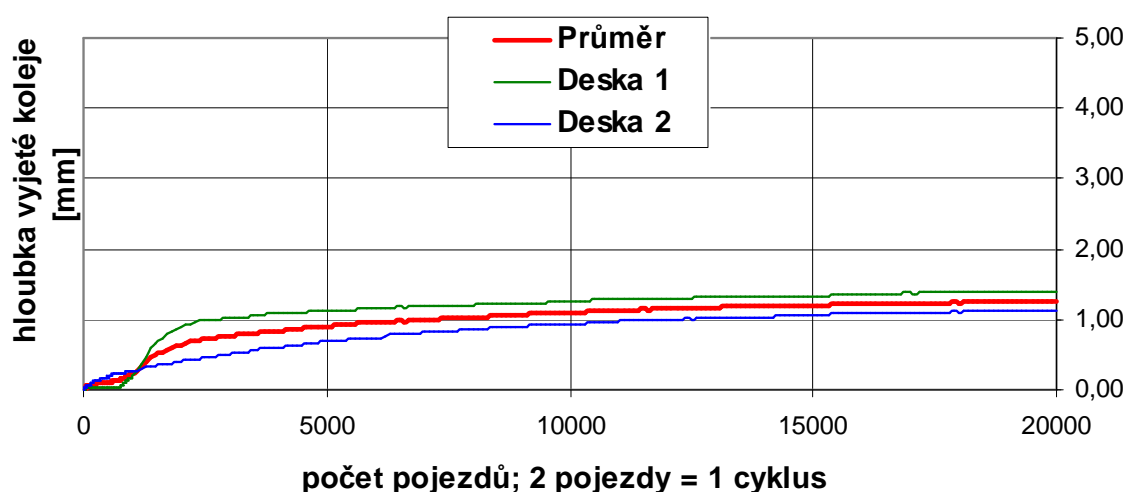
Podle požadavků normy ČSN EN 13108-1 [18] a ČSN 73 6121 [2] byly na předmětných směsích provedeny následující funkční zkoušky:

### 5.4.1 Odolnost proti trvalým deformacím – zkouška opakovaného poježdění kolem [10]

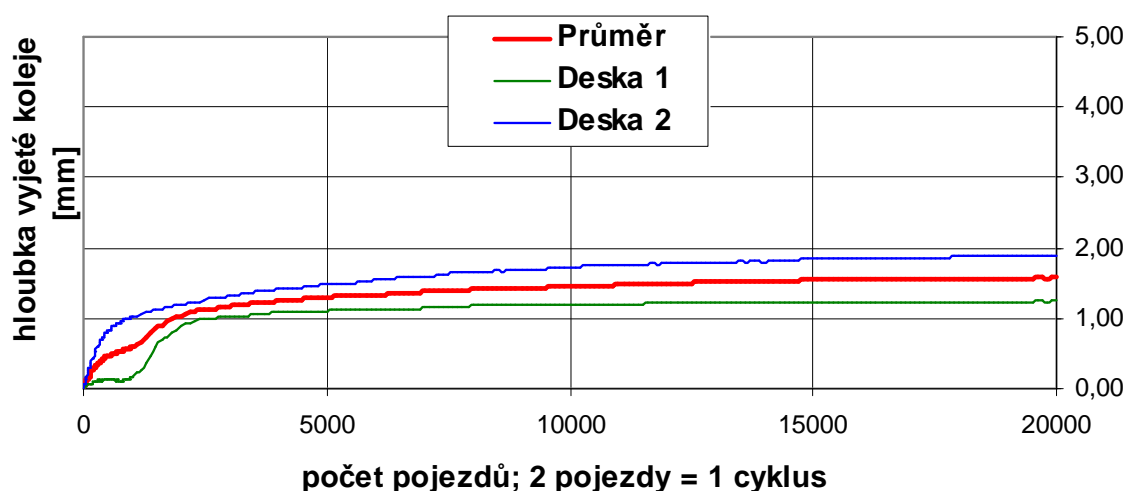
K provedení zkoušky byla vyrobena dvě zkušební tělesa (desky) pro každou směs. Postup výroby těles, postup zkoušky a způsob výpočtu jsou popsány v kapitole **4.3.5**. Pouze při výrobě desek byla teplota hutnění zvýšena na 160 °C.

Výsledné hodnoty  $WTS_{AIR}$  a  $PRD_{AIR}$  byly pro každou směs zvlášť vyneseny do **Grafů 17 - 18**, na nichž je patrný zřetelný průběh nárůstu hloubky koleje.

**Graf 17 – Průběh hloubky vyjeté koleje u směsi č. 9**



**Graf 18 – Průběh hloubky vyjeté koleje u směsi č. 10**

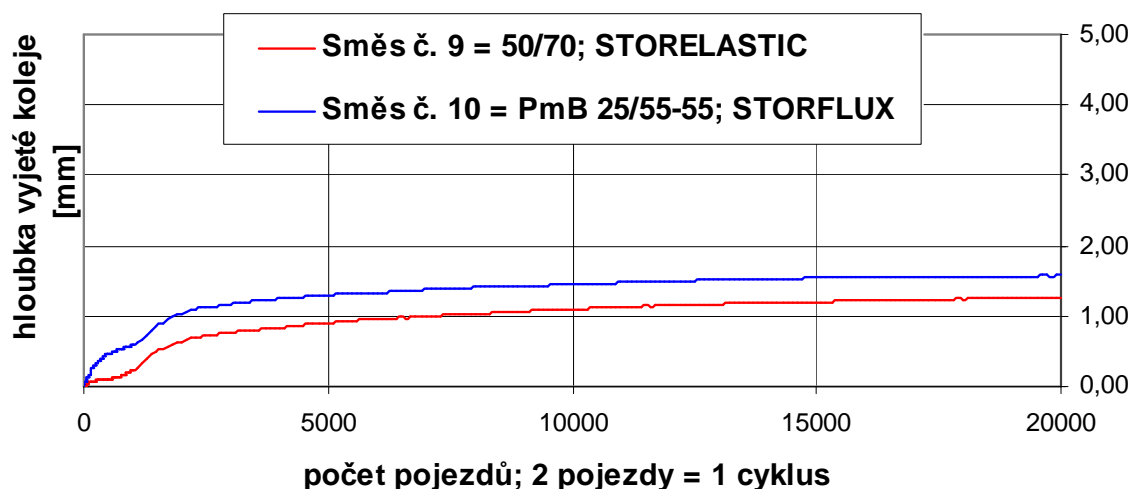


Výsledky měření obou směsí s různými asfaltovými pojivy a různými přísadami zpracovávaných za stejné teploty jsou uvedeny v **Tabulce 19** a zakresleny do **Grafu 19**.

**Tabulka 19** – Souhrnný přehled výsledků zkoušky na trvalé deformace pomocí zkoušky opakovaného poježdění kolem

Deska	Přísada; teplota hutnění	Pojivo	Směs; obsah R-materiálu	Přírůstek hloubky koleje $WTS_{AIR}$ [mm]	$PRD_{AIR}$ [%]
IX.1	<b>STORFLUX;</b> 160 °C	50/70	ACL 22+ s 50 % R-mat.	<b>0,02</b>	<b>2,4</b>
IX.2					
X.1	<b>STORELASTIC;</b> 160 °C	PmB 25/55- 55	ACL 22+ s 50 % R-mat.	<b>0,03</b>	<b>1,8</b>
X.2					

**Graf 19** – Porovnání hloubky vyjeté koleje u směsi č. 9 a č. 10



Dle Tabulky NA-E.5.2 normy ČSN EN 13108-1 [18] jsou hodnoty  $WTS_{AIR}$  a  $PRD_{AIR}$  pro ložní vrstvu ACL 22+ deklarovány pouze pro vozovky s TDZ II nebo pro vozovky s pomalou a zastavující dopravu pro TDZ III, v obou případech pouze při použití nemodifikovaného pojiva.



#### 5.4.2 Odolnost zkušebního tělesa vůči vodě – zkouška ITSR [9] [11]

Asfaltová směs **č. 10** se STORFLUXEM byla připravena podle postupu, který je uveden v kapitole **5.3.3**, asfaltová směs **č. 9** se STORELASTICEM byla vyrobena přímo v míchacím centru obalovny (viz kapitola **5.3.4**).

Z horké asfaltové směsi bylo vyrobeno 8 (minimálně 6) zkušebních těles – Marshallových těles. Tato tělesa byla vyrobena stejným postupem, jenž je popsán v kapitole **4.3.4** s tím rozdílem, že při hutnění zkušebních těles hutnicím pěchem byla tělesa hutněna 2 x 25 hutnicími rázy. Z tohoto důvodu musela být, kvůli dosažení požadované výšky zkušebního tělesa  $63 \pm 2,5$  mm, snížena hmotnost navážky asfaltové směsi.

Rozměry vyrobených těles byly stanoveny pomocí posuvného měřítka podle EN 12697-29 [14] a byla stanovena hmotnost suchého tělesa ( $m_1$ ). Stanovení objemové hmotnosti asfaltového zkušebního tělesa bylo provedeno podle ČSN EN 12697-6 [7]. Z důvodu vysoké mezerovitosti díky sníženému počtu hutnicích rázů (2 x 25) při výrobě tělesa však byl pro stanovení objemové hmotnosti použit **Postup D** této normy a následující vzorec:

$$\rho_{b,dim} = (m_1 / (\pi/4 \times h \times d^2)) \times 10^3$$

kde  $\rho_{b,dim}$  je objemová hm. zkušebního tělesa podle rozměrů (Mg/m<sup>3</sup>)

$m_1$  hmotnost suchého zkušebního tělesa (g)

$h$  výška zkušebního tělesa (mm)

$d$  průměr zkušebního tělesa (mm)

Podle vypočítané objemové hmotnosti byla tělesa rozdělena do dvojic, tak aby právě tyto dvě tělesa měly přibližně stejnou objemovou hmotnost. Rozměry a objemové hmotnosti jednotlivých těles jsou vypsány v **Tabulce 20**. Laboratorní zápisy stanovení fyzikálně-mechanických vlastností jsou přílohou Protokolu o stanovení odolnosti vůči účinkům vody a jsou uvedeny v příloze **P.18 – P.19**.

**Tabulka 20 – Rozměry a hmotnosti Marshallových těles pro zkoušku ITSR**

Směs	Číslo tělesa	Rozměry		Hmotnost	Objem tělesa	Objemová hmotnost
		Průměr d	Výška h	Suchá m1		
		[mm]	[mm]	[g]		
ACL 22+ PmB 25/55-55; <b>STORFLUX</b>	S1	101,7	59,9	1116,1	486,6	<b>2,294</b>
	S2	101,5	60,2	1118,2	487,1	<b>2,296</b>
	S3	101,6	60,2	1119,7	488,1	<b>2,294</b>
	V1	101,6	59,9	1118,7	485,6	<b>2,304</b>
	V2	101,6	59,9	1117,5	485,6	<b>2,301</b>
	V3	101,6	59,8	1117,3	484,8	<b>2,305</b>
ACL 22+ 50/70; <b>STORELASTIC</b>	S1	101,5	57,3	1103,9	463,6	<b>2,381</b>
	S2	102,3	59,0	1117,6	484,9	<b>2,305</b>
	S3	101,7	58,0	1120,1	471,2	<b>2,377</b>
	S4	101,9	58,4	1119,6	476,3	<b>2,351</b>
	V1	101,7	59,3	1117,6	481,7	<b>2,320</b>
	V2	101,6	59,8	1117,7	484,8	<b>2,306</b>
	V3	101,5	60,5	1119,8	489,5	<b>2,288</b>
	V4	101,7	59,6	1119,9	484,1	<b>2,313</b>

Pro každou směs byla vyrobena sada zkušebních těles (minimálně 6). Tato sada byla rozdělena do dvou skupin o stejné velikosti. Jedna skupina těles byla udržována na suchu při laboratorní teplotě, druhá skupina byla uložena do vodní lázně, která byla temperována na zvýšenou teplotu. Po temperování byla na jednotlivých tělesech z každé skupiny stanovena pevnost v příčném tahu. Výsledkem této zkoušky je poměr pevnosti v tahu stanovené na skupině těles temperovaných ve vodní lázni k pevnosti v příčném tahu stanovené na skupině zkušebních těles udržovaných na vzduchu. Poměr těchto pevností se procentuelně uvádí jako *ITSR*.

Postup zkoušky:

Po rozdělení sady těles do dvou skupin po třech (čtyřech) zkušebních tělesech byla skupina suchých těles uložena na rovném povrchu a udržována

při laboratorní teplotě  $(20 \pm 5) ^\circ\text{C}$ . Skupina mokrých zkušebních těles byla uložena do vakuové komory naplněné vodou o teplotě  $(20 \pm 5) ^\circ\text{C}$ , jejíž hladina sahala do úrovně minimálně 20 mm nad horní povrch zkušebních těles.

Tělesa byla podrobena působení tlaku ve vakuové komoře, kde byl tlak regulován podle nastaveného programu příslušného zařízení. Po skončení tohoto programu, byla tělesa ponechána ponořena ve vodě po dobu  $(30 \pm 5)$  min. Na tělesech byla následně stanovena objemová hmotnost dle kapitoly **4.3.4**. Pokud byla stanovená objemová hmotnost tělesa zvýšena o více než 2% oproti původní objemové hmotnosti, bylo toto těleso vyřazeno. Poté byla skupina mokrých těles vložena do vodní lázně s teplotou  $(40 \pm 1) ^\circ\text{C}$  na dobu 68 až 72 hodin.

Podle skupiny byla zkušební tělesa temperována přímo ve vodní lázni (mokrá tělesa) nebo v termostaticky regulované sušárně (suchá tělesa) na doporučenou teplotu  $(25 \pm 2) ^\circ\text{C}$ . Jelikož průměr zkušebních těles byl menší než 150 mm, byly temperovány po dobu 2 hodin. Temperování těles v sušárně bylo řízeno tak, že byla zkušební tělesa uložena do sušárny společně s duplicitním zkušebním tělesem, které mělo zabudovaný teplotní indikátor.

Vytemperovaná zkušební tělesa byla jednotlivě vložena mezi tlačené čelisti zkušebního lisu (**Obr. 28b**). Mokrá skupina těles byla před vložením do lisu osušena vhodnou textilií. Zkušební těleso bylo umístěno na spodním zatěžovacím pásu, aby mohl být zatěžován jeho průměr. Následně bylo zahájeno stlačování zkušebního tělesa. Zatížení působilo nepřerušovaně, bez nárazu při konstantní rychlosti  $(50 \pm 2)$  mm za minutu, až bylo dosaženo maximálního zatížení. Tato hodnota maximálního zatížení byla zaznamenána elektronickým měřidlem a softwarově vyhodnocena. Výsledek měření byl automaticky vytisknut. Při zkoušce pevnosti v příčném tahu bylo dbáno na to, aby byla zkouška provedena do 1 minuty po vyjmutí zkušebního tělesa z temperované vodní lázně či sušárny.

a) Lis pro zkoušku v příčném tahu, záznamový a vyhodnocovací software s PC a tiskárnou

b) Detail uchycení zkoušeného tělesa a měřidla



**Obr. 28** - Zařízení použito pro zkoušku ITSR

#### Výpočty a výsledky

Výpočet pevnosti v příčném tahu byl pro skupiny mokrých a suchých těles stanoven podle vzorce [11]:

$$ITSw(d) = 2P / \pi DH$$

kde  $ITSw(d)$  je pevnost v příčném tahu (MPa) stanovená na mokrých (suchých) tělesech

$P$  maximální zatížení (N)

$d$  průměr zkušebního tělesa (mm)

$H$  výška zkušebního tělesa (mm)

Výsledná hodnota pevnosti v příčném tahu byla pro každou skupinu zkušebních těles určena jako průměr ze tří (čtyř) měření.

Následné stanovení odolnosti asfaltové směsi vůči účinkům proti vodě byla vypočtena podle vzorce [9]:

$$ITSR = 100 \times (ITSw / ITSd)$$

kde  $ITSR$  je poměr pevnosti v příčném tahu (%)

*ITS<sub>w</sub>* průměrná pevnost v příčném tahu skupiny mokrých zkušebních těles (kPa)

*ITS<sub>d</sub>* průměrná pevnost v příčném tahu skupiny suchých zkušebních těles (kPa)

Výsledky zkoušky odolnosti vůči vodě a zkoušky pevnosti v příčném tahu stanovené na mokrých a suchých zkušebních tělesech jsou pro jednotlivé směsi uvedeny **Tabulce 21**.

**Tabulka 21** – Přehled výsledků zkoušky *ITSR*

Směs	Číslo tělesa	Zkušební tlak lisu	Pevnost tělesa	Stanovená pevnost <i>ITS<sub>d,w</sub></i>	<i>ITSR</i>
		[KN]	[KPa]	[KPa]	[%]
ACL 22+ PmB 25/55-55; <b>STORFLUX</b>	S1	12,2	1 278,1	1 280,632	<b>101</b>
	S2	12,0	1 249,2		
	S3	12,6	1 314,6		
	V1	12,0	1 252,0	1 297,500	
	V2	12,1	1 263,6		
	V3	13,1	1 376,8		
ACL 22+ 50/70; <b>STORELASTIC</b>	S1	12,5	1 368,3	1 249,893	<b>92</b>
	S2	11,6	1 223,5		
	S3	12,1	1 305,9		
	S4	10,3	1 101,9		
	V1	11,5	1 211,9	1 156,200	
	V2	10,5	1 097,3		
	V3	11,1	1 149,6		
	V4	11,1	1 165,8		

Po provedení zkoušky Stanovení odolnosti zkušební tělesa vůči vodě lze konstatovat, že výsledné hodnoty jsou v souladu s požadavky normy ČSN EN 13108-1 [18], kde je pro ložní vrstvu ACL 22+ požadována požadovaná hodnota *ITSR* **min. 70 %**.

## 5.5 Dílčí vyhodnocení 2. části DP

Na testovaných vzorcích bylo prokázáno, že vlastnosti asfaltových směsí vyráběných z běžných silničních asfaltů obohacených přísadou STORELASTIC, jsou na základě funkčních zkoušek za a) Odolnost proti trvalým deformacím – zkouška opakovaného pojíždění kolem [10] a za b) Stanovení odolnosti zkušebního tělesa vůči vodě [9] srovnatelné s vlastnostmi asfaltových směsí vyráběných za pomoci polymerem modifikovaných asfaltů.

## 6 Závěr

Recyklace asfaltových vozovek a zvyšování podílu materiálu původních konstrukčních vrstev v nových asfaltových směsích představuje významné konkurenční hledisko při porovnání s dalšími konstrukčními systémy, které se v silničním stavitelství uplatňují, obzvláště je-li zaručena shodná životnost a trvanlivost. Z celospolečenského hlediska lze zaváděním asfaltových směsí s vyšším podílem asfaltového R-materiálu doložit v zásadě úplnou recyklovatelnost konstrukcí původních vozovek – samozřejmě za předpokladu nezbytného přetřídění a ověření vlastností recyklovaného materiálu. Z pohledu správce pozemních komunikací lze za hlavní přínosy uvést následující:

- efektivnější zhodnocení materiálu původní vozovky bez nutnosti jeho nákladného skládkování a méně výhodného prodeje pro podřadné účely;
- získání kvalitativně srovnatelného výrobku asfaltové směsí s využitím asfaltového R-materiálu (případně se zlepšením některých parametrů). Asfaltové směsi vždy odpovídají požadavkům normy ČSN EN 13108-1 [18];
- docílení dílčí cenové úspory v důsledku náhrady dražšího přírodního kameniva R-materiálem. Díky tomu potenciálně může správce opravit kvalitativně vyspělou technologií větší plochu spravovaných komunikací;

- inteligentní kombinace s technologiemi recyklace za studena na místě použitá zejména pro podkladní vrstvy (recyklace uplatněná ve všech konstrukčních vrstvách vozovky);
- snížení přepravních objemů (odfrézovaný materiál je odvezen na obalovnu, kde se zpracuje do nové asfaltové směsi. Přeprava neprobíhá na jiné deponie nebo z deponie pro konečné využití. Na druhé straně výrobce asfaltové směsi přepravuje pro 1 tunu vyrobené asfaltové směsi menší množství kameniva).

Z pohledu potenciálních zhotovitelů ověření nových trendů typu s využitím zkušebních úseků umožňuje zvyšovat konkurenceschopnost a současně dále rozvíjet technickou úroveň. Při dobrém zvládnutí technologie může i zde docházet k vytváření dodatečných ekonomických přínosů v podobě zvýšeného objemu provedených prací.

Z hlediska trhu, na kterém výsledky budou nalézat uplatnění, lze konstatovat, že tento trh existuje již dnes a poznatky dosažené v rámci naměřených výsledků a pozorování v této Diplomové práci na reálném zkušebním úseku mohou napomoci rychlejšímu zavádění podmínek a upřesněných návrhů asfaltových směsí s vyšším podílem asfaltového R-materiálu. Trh tvoří oblast silničního stavitelství, kde s ohledem k existenci více jak 55 tisíc km silnic a dálnic je při dnešním technickém stavu a s ohledem k fázi životnosti řady konstrukcí velmi velký potenciál pro uplatnění podobných technologií. Využití těchto technologií by mělo mít kladný účinek na cenovou úroveň asfaltových směsí se zvýšeným podílem R-materiálu v porovnání s klasickou asfaltovou směsí a to navzdory skutečnosti, že u těchto směsí zpravidla dochází k uplatnění speciálních asfaltů nebo přísad. Tento přínos se bude zvyšovat úměrně procentuálnímu podílu, který se podaří v asfaltové směsi aplikovat.

Z hlediska potenciálních ekonomických úspor lze uvést, že cena asfaltové směsi v závislosti na výsledném podílu asfaltového R-materiálu může dosahovat snížení v rozmezí 10-20 %, přičemž do této úspory je nezbytné

zahrnout především sníženou spotřebu přírodního kameniva a menší objemy odfrézovaného materiálu ukládaného na skládku či využívaného pro podřadné účely. V důsledku této skutečnosti může dojít k zvýšení objemu realizovaných oprav (min. o 5-7 %), současně v důsledku uvedeného lze předpokládat, že správci budou více preferovat provádění souvislých oprav před lokálními výpravkami. Tato skutečnost má významný dopad na prodlužování životnosti konstrukce vozovky, kdy lze v průměru docílit zlepšení až o 50 %, což v případném propočtu nákladů životního cyklu konstrukce bude představovat další pozitivní ekonomický dopad.

Údaje uvedené v dále přiložené **Tabulce 22** demonstrují dosažitelný potenciál při realizaci ploch souvislých oprav v rozmezí 80 tis. m<sup>2</sup> v roce 2013 s nárůstem až na 130 tis. m<sup>2</sup> ploch v roce 2015, kde by se uplatnil asfaltový R-materiál v asfaltových směsích. Snížení nákladů skládkového a úspory v přírodních materiálech jsou orientační. Závisí do určité míry též na technologických a surovinových možnostech jednotlivých zhotovitelů.

**Tabulka 22** – Dosažitelný potenciál při realizaci ploch souvislých oprav s užitím asfaltového R-materiálu v asfaltové hutněné směsi

Přínos	Jednotka	Rok 2013	Rok 2014	Rok 2015
Úspora v přírodních materiálech	tis. tun	800	1.500	1.800
Snížené náklady na skládkovné	TCZK	75	1.400	1.650
Realizovatelná plocha oprav	m <sup>2</sup>	80.000	110.000	130.000



## 7 Seznam použité literatury

### Normy

- [1] ČSN 73 6160. *Zkoušení asfaltových směsí*. Praha: ČNI, 2008, 24 s.
- [2] ČSN 73 6121. *Stavba vozovek - Hutněné asfaltové vrstvy - Provádění a kontrola shody*. Praha: ČNI, 2008, 36 s.
- [3] ČSN EN 12591. *Asfalty a asfaltová pojiva - Specifikace pro silniční asfalty*. Praha: ÚNMZ, 2009, 28 s.
- [4] ČSN EN 12697-1. *Asfaltové směsi – Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka – Část 1: Obsah rozpustného pojiva*. Praha: ČNI, 2001, 43 s.
- [5] ČSN EN 12697-3. *Asfaltové směsi -Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka - Část 3: Znovuzískání extrahovaného pojiva: Rotační vakuové destilační zařízení*. Praha: ČNI, 2006, 16 s.
- [6] ČSN EN 12697-5+A1. *Asfaltové směsi - Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka - Část 5: Stanovení maximální objemové hmotnosti*. Praha: ČNI, 2007, 24 s.
- [7] ČSN EN 12697-6+A1. *Asfaltové směsi - Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka - Část 6: Stanovení objemové hmotnosti asfaltového zkušebního tělesa*. Praha: ČNI, 2007, 16 s.
- [8] ČSN EN 12697-8. *Asfaltové směsi - Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka - Část 8: Stanovení mezerovitosti asfaltových směsí*. Praha: ČNI, 2004, 12 s.
- [9] ČSN EN 12697-12. *Asfaltové směsi - Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka - Část 12: Stanovení odolnosti zkušebního tělesa vůči vodě*. Praha: ÚNMZ, 2009, 16 s.
- [10] ČSN EN 12697-22+A1. *Asfaltové směsi - Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka - Část 12: Zkouška pojíždění kolem*. Praha: ČNI, 2007, 28 s.

- [11] ČSN EN 12697-23. *Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka - Část 23: Stanovení pevnosti v příčném tahu*. Praha: ČNI, 2005, 16 s.
- [12] ČSN EN 12697-27. *Asfaltové směsi - Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka - Část 27: Odběr vzorků*. Praha: ČNI, 2002, 20 s.
- [13] ČSN EN 12697-28. *Asfaltové směsi - Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka - Část 28: Příprava vzorků pro stanovení obsahu pojiva, obsahu vody a zrnitosti*. Praha: ČNI, 2002, 14 s.
- [14] ČSN EN 12697-29. *Asfaltové směsi - Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka - Část 29: Stanovení rozměrů asfaltových zkušebních těles*. Praha: ČNI, 2003, 8 s.
- [15] ČSN EN 12697-30. *Asfaltové směsi - Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka - Část 30: Příprava vzorků pro stanovení obsahu pojiva, obsahu vody a zrnitosti*. Praha: ČNI, 2002, 14 s.
- [16] ČSN EN 12697-33+A1. *Asfaltové směsi - Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka - Část 33: Příprava zkušebních těles zhutňovačem desek*. Praha: ČNI, 2007, 20 s.
- [17] ČSN EN 12697-35+A1. *Asfaltové směsi - Zkušební metody pro asfaltové směsi za horka - Část 35: Laboratorní výroba směsi*. Praha: ČNI, 2007, 12 s.
- [18] ČSN EN 13108-1. *Asfaltové směsi – Specifikace pro materiály – Část 1: Asfaltový beton*. Praha: ČNI, 2008, 73 s.
- [19] ČSN EN 13108-8. *Asfaltové směsi - Specifikace pro materiály - Část 8: R-materiál*. Praha: ČNI, 2008, 12 s.
- [20] ČSN EN 13108-21. *Asfaltové směsi - Specifikace pro materiály - Část 21: Řízení výroby u výrobce*. Praha: ČNI, 2008, 12 s.
- [21] ČSN EN 1426. *Asfalty a asfaltová pojiva - Stanovení penetrace jehlou*. Praha: ČNI, 2007, 16 s.

[22] ČSN EN 1427. *Asfalty a asfaltová pojiva - Stanovení bodu měknutí – Metoda kroužek a kulička*. Praha: ČNI, 2007, 16 s.

[23] ČSN EN 933-1. *Zkoušení geometrických vlastností kameniva - Část 1: Stanovení zrnitosti - Sítový rozbor*. Praha: ČNI, 1998, 12 s.

#### **WEB, články, ostatní zdroje**

[24] Asfalty a asfaltové výrobky. *Petroleum.cz* [online]. © 2007-2013 [cit. 2014-01-08]. Dostupné z: < <http://www.petroleum.cz/vyroby/asfalty.aspx> >

[25] GARBA, R., Permanent Deformation Properties of Asphalt Concrete Mixtures, Norwegian University of Science and Technology, NTNU 2002

[26] PAVLIČÍK, P. *Návrhy asfaltových směsí s využitím vyššího obsahu R-materiálu: diplomová práce*. Brno, 2013. VUT Brno. Fakulta stavební. Ústav pozemních komunikací. VUT v Brně, FAST, 2013

[27] STORIMPLEX. *PRODUKTDATENBLATT: STORFLUX*. Glinde, 2009. Dostupné z: <[http://www.storimpex.de/fileadmin/download/storflux/Produktdatenblatt\\_Storflux.pdf](http://www.storimpex.de/fileadmin/download/storflux/Produktdatenblatt_Storflux.pdf)>

[28] LUTONSKÝ, F. *Problematika výroby a pokládky asfaltových směsí: bakalářská práce*. Brno, 2010. VUT Brno. Fakulta stavební. Ústav pozemních komunikací. VUT v Brně, FAST, 2010

[29] VARAUS, Michal. *Asfaltové směsi v Evropě 2012: Opětovné využití materiálů a recyklace* [prezentace]. 2012, 59 s. [cit. 2014-01-08].

[30] VARAUS, Michal. *Recyklace netuhých vozovek* [prezentace]. 2012, 61 s. [cit. 2014-01-08].

[31] VARAUS, M., Habilitace

[32] Zdrálek, P., Disertační práce, pracovní verze

## 8 Seznam použitých zkratk a symbolů

### *Písmena latinské abecedy*

<i>ACL</i>	asfaltový beton pro ložní vrstvu
<i>d</i>	velikost dolního zrna/síta
<i>D</i>	velikost horního zrna/síta
<i>d5.000</i>	hloubka vyjeté koleje po 5000 cyklech
<i>DK</i>	drobné kamenivo
<i>DTK</i>	drobné těžené kamenivo
<i>fx</i>	obsah jemných částic
<i>GX/Y</i>	zrnitost (propad horním sítem)/(propad dolním sítem)
<i>ITSd</i>	pevnost v příčném tahu stanovená na "suchých" tělesech
<i>ITSR</i>	poměr pevnosti v příčném tahu
<i>ITSw</i>	pevnost v příčném tahu stanovená na "mokrých" tělesech
<i>KK</i>	kroužek - kulička metoda pro stanovení bodu měknutí asfaltového pojiva
<i>PRD<sub>AIR</sub></i>	poměrná hloubka koleje
<i>RAP</i>	anglická zkratka R-materiálu
<i>S</i>	modul tuhosti
<i>TDZ</i>	třída dopravního zatížení
<i>VFB</i>	stupeň vyplnění mezer kameniva pojivem
<i>V<sub>m</sub></i>	mezerovitost asfaltové směsi
<i>V<sub>p</sub></i>	objem pyknometru

$WTS_{AIR}$  přírůstek hloubky koleje

$Y_d$  procentuální propad zrn na síti s velikostí oka  $d$  mm

***Písmena řecké abecedy***

$\rho_{bssd}$  objemová hmotnost zhutněné asfaltové směsi

$\rho_{b,dim}$  objemová hm. zkušebního tělesa podle rozměrů

$\rho_d$  objemová hmotnost kameniva

$\rho_{mv}$  maximální objemová hmotnost asfaltové směsi

$\rho_w$  objemová hmotnost vody

## 9 Seznam obrázků

<b>Obr. 1</b> - Vývoj ceny ropy od roku 1946 (zahrnující vliv inflace) [30] .....	10
<b>Obr. 2</b> - Složení asfaltové směsi [25] .....	13
<b>Obr. 3</b> - Obor zrnitosti asfaltové směsi ACO 11 s vyznačením Fullerovy paraboly (čárkovaně) [29] .....	15
<b>Obr. 4</b> - Uzavřená textura asfaltového betonu [29] .....	15
<b>Obr. 5</b> - Obor zrnitosti asfaltové směsi SMA 11 [28] .....	18
<b>Obr. 6</b> - Otevřená textura asfaltového koberce mastixového [29] .....	19
<b>Obr. 7</b> - Porovnání zrnitosti asfalt. koberce mastixového a asfalt. betonu [28] ..	19
<b>Obr. 8</b> - Schéma obalovny s paralelním bubnem [30] .....	22
<b>Obr. 9</b> - Šaržová obalovna asfaltových směsí fy Froněk s paralelním bubnem pro předehřev asfaltového R-materiálu .....	23
<b>Obr. 10</b> - Přehled vyráběných a používaných směsí .....	24
<b>Obr. 11</b> - Stacionární technologická linka pro drcení asfaltového recyklátu .....	24
<b>Obr. 12</b> - Satelitní mapa pokusného úseku .....	26
<b>Obr. 13</b> - Pokusný úsek během pokládky asfaltových hutněných směsí .....	27
<b>Obr. 14</b> - Analyzátor asfaltové směsi .....	27
<b>Obr. 15</b> - Destilační jednotka: č .....	28
<b>Obr. 16</b> - Třesací zařízení pro síťový rozbor kameniva .....	30
<b>Obr. 17</b> - Postup zkoušky stanovení maximální objemové hmotnosti .....	37
<b>Obr. 18</b> - Hutnící pěch pro výrobu a hydraulický lis pro vytlačení Marshallových těles .....	39
<b>Obr. 19</b> - Vážení suchého a ponořeného nasyceného zkušebního tělesa .....	40
<b>Obr. 20</b> - Zkušební těleso po zhutnění v lamelovém zhutňovači .....	42
<b>Obr. 21</b> - Zkušební tělesa při laboratorní teplotě a v ocelové formě .....	44
<b>Obr. 22</b> - Malé zkušební zařízení pro zkoušku opakovaného pojíždění .....	44

<b>Obr. 23</b> - Vliv modifikovaného pojiva asfaltu na hloubku koleje [24] .....	53
<b>Obr. 24</b> - Zkoušení asfaltového pojiva – penetrace jehlou.....	57
<b>Obr. 25</b> - Zkoušení asfaltového pojiva – bod měknutí (KK) [32] .....	59
<b>Obr. 26</b> - Postup zkoušky kroužek - kulička.....	60
<b>Obr. 27</b> - Horkovzdušný sterilizátor a laboratorní míchačka asf. směsí.....	62
<b>Obr. 28</b> - Zařízení použito pro zkoušku ITSr .....	72

## 10 Seznam tabulek

<b>Tabulka 1</b> – Nejvyšší přípustný obsah R-materiálu v % hmotnosti v asfaltové směsi z asfaltového betonu [18].....	11
<b>Tabulka 2</b> – Vlastnosti změkčovačla STORFLUX [27].....	25
<b>Tabulka 3</b> – Vlastnosti změkčovačla STORBIT [27].....	26
<b>Tabulka 4</b> - Propady na sítích pro ACL 22+ dle ČSN EN 13108-1 [18].....	31
<b>Tabulka 5</b> – Porovnání propadů na sítích u směsí s obsahem 30 % R-mat. s návrhovou křivkou v závislosti na ČSN EN 13108-21 [20].....	35
<b>Tabulka 6</b> – Porovnání propadů na sítích u směsí s obsahem 50 % R-mat. s návrhovou křivkou v závislosti na ČSN EN 13108-21 [20].....	35
<b>Tabulka 7</b> – Výsledky kontrolních zkoušek jednotlivých asf. směsí na max. OH, OH zkušebního tělesa, mezerovitosti směsi a obsah pojiva.....	40
<b>Tabulka 8</b> – Objem.hmotnosti, míra zhutnění a mezerovitost vyrobených desek.....	43
<b>Tabulka 9</b> – Souhrnný přehled výsledků zkoušky na trvalé deformace pomocí zkoušky opakovaného pojíždění kolem.....	50
<b>Tabulka 10</b> – Výsledek penetrační zkoušky [0,1 mm].....	58
<b>Tabulka 11</b> – Výsledek zkoušky kroužek - kulička.....	60
<b>Tabulka 12</b> – Výpočet mezerovitosti u směsi ACL 22+; PmB 25/55-55.....	60
<b>Tabulka 13</b> – 1. výpočet mezerovitosti u asfaltové směsi ACL 22+; 50/70; STORELASTIC.....	64
<b>Tabulka 14</b> – 2. výpočet mezerovitosti z návrhu (dtto dále) u směsi ACL 22+; 50/70; STORELASTIC.....	65



<b>Tabulka 15</b> – 3. výpočet mezerovitosti u směsi ACL 22+; 50/70; STORELASTIC.....	65
<b>Tabulka 16</b> – 4. výpočet mezerovitosti u směsi ACL 22+; 50/70; STORELASTIC.....	65
<b>Tabulka 17</b> – 5. výpočet mezerovitosti u směsi ACL 22+; 50/70; STORELASTIC.....	65
<b>Tabulka 18</b> – 6. výpočet mezerovitosti u směsi ACL 22+; 50/70; STORELASTIC.....	66
<b>Tabulka 19</b> – Souhrnný přehled výsledků zkoušky na trvalé deformace pomocí zkoušky opakovaného pojíždění kolem.....	68
<b>Tabulka 20</b> – Rozměry a hmotnosti Marshallových těles pro zkoušku ITSr....	70
<b>Tabulka 21</b> – Přehled výsledků zkoušky ITSr.....	73

## 11 Seznam grafů

<b>Graf 1</b> – Zrnitost vzorku směsi č. 1 s 30% R-mat.....	31
<b>Graf 2</b> – Zrnitost vzorku směsi č. 2 .....	32
<b>Graf 3</b> – Zrnitost vzorku směsi č. 3 .....	32
<b>Graf 4</b> – Zrnitost vzorku směsi č. 4 .....	32
<b>Graf 5</b> – Zrnitost vzorku směsi č. 5 .....	33
<b>Graf 6</b> – Zrnitost vzorku směsi č. 6 .....	33
<b>Graf 7</b> – Zrnitost vzorku směsi č. 7 .....	33
<b>Graf 8</b> – Zrnitost vzorku směsi č. 8 .....	34
<b>Graf 9</b> – Průběh hloubky vyjeté koleje u směsi č. 1 .....	46
<b>Graf 10</b> – Průběh hloubky vyjeté koleje u směsi č. 2 .....	46
<b>Graf 11</b> – Průběh hloubky vyjeté koleje u směsi č. 3 .....	47
<b>Graf 12</b> – Průběh hloubky vyjeté koleje u směsi č. 4 .....	47
<b>Graf 13</b> – Průběh hloubky vyjeté koleje u směsi č. 5 .....	48
<b>Graf 14</b> – Průběh hloubky vyjeté koleje u směsi č. 6 .....	48
<b>Graf 15</b> – Průběh hloubky vyjeté koleje u směsi č. 7 .....	49
<b>Graf 16</b> – Průběh hloubky vyjeté koleje u směsi č. 8 .....	49
<b>Graf 17</b> – Průběh hloubky vyjeté koleje u směsi č. 9 .....	67
<b>Graf 18</b> – Průběh hloubky vyjeté koleje u směsi č. 10 .....	67
<b>Graf 19</b> – Porovnání hloubky vyjeté koleje u směsi č. 9 a č. 10 .....	68

## 12 Seznam příloh

<b>Příloha P. 1</b> – Záznam zkoušky asf. hutněné směsi .....	88
<b>Příloha P. 2</b> – Stanovení vlastností vzorku asf. směsi č. 1.....	89
<b>Příloha P. 3</b> – Stanovení vlastností vzorku asf. směsi č. 2.....	90
<b>Příloha P. 4</b> – Stanovení vlastností vzorku asf. směsi č. 3.....	91
<b>Příloha P. 5</b> – Stanovení vlastností vzorku asf. směsi č. 4.....	92
<b>Příloha P. 6</b> – Stanovení vlastností vzorku asf. směsi č. 5.....	93
<b>Příloha P. 7</b> – Stanovení vlastností vzorku asf. směsi č. 6.....	94
<b>Příloha P. 8</b> – Stanovení vlastností vzorku asf. směsi č. 7.....	95
<b>Příloha P. 9</b> – Stanovení vlastností vzorku asf. směsi č. 8.....	96
<b>Příloha P. 10</b> – Hustota vody v závislosti na teplotě.....	97
<b>Příloha P. 11</b> – Stanovení vlastností vzorku R-mat. 0/22.....	98
<b>Příloha P. 12</b> – Návrhové vstupní složení směsi ACL 22+.....	99
<b>Příloha P. 13</b> – 1.Návrh asf. směsi 50/70 STORELASTIC.....	100
<b>Příloha P. 14</b> – 2. Návrh asf. směsi 50/70 STORELASTIC.....	101
<b>Příloha P. 15</b> – 3. Návrh asf. směsi 50/70 STORELASTIC.....	102
<b>Příloha P. 16</b> – 4. Návrh asf. směsi 50/70 STORELASTIC.....	103
<b>Příloha P. 17</b> – 5. Návrh asf. směsi 50/70 STORELASTIC.....	104
<b>Příloha P. 18</b> – Protokol č. IX; Stanovení odolnosti proti účinkům vody .....	105
<b>Příloha P. 19</b> – Protokol č. X; Stanovení odolnosti proti účinkům vody .....	106